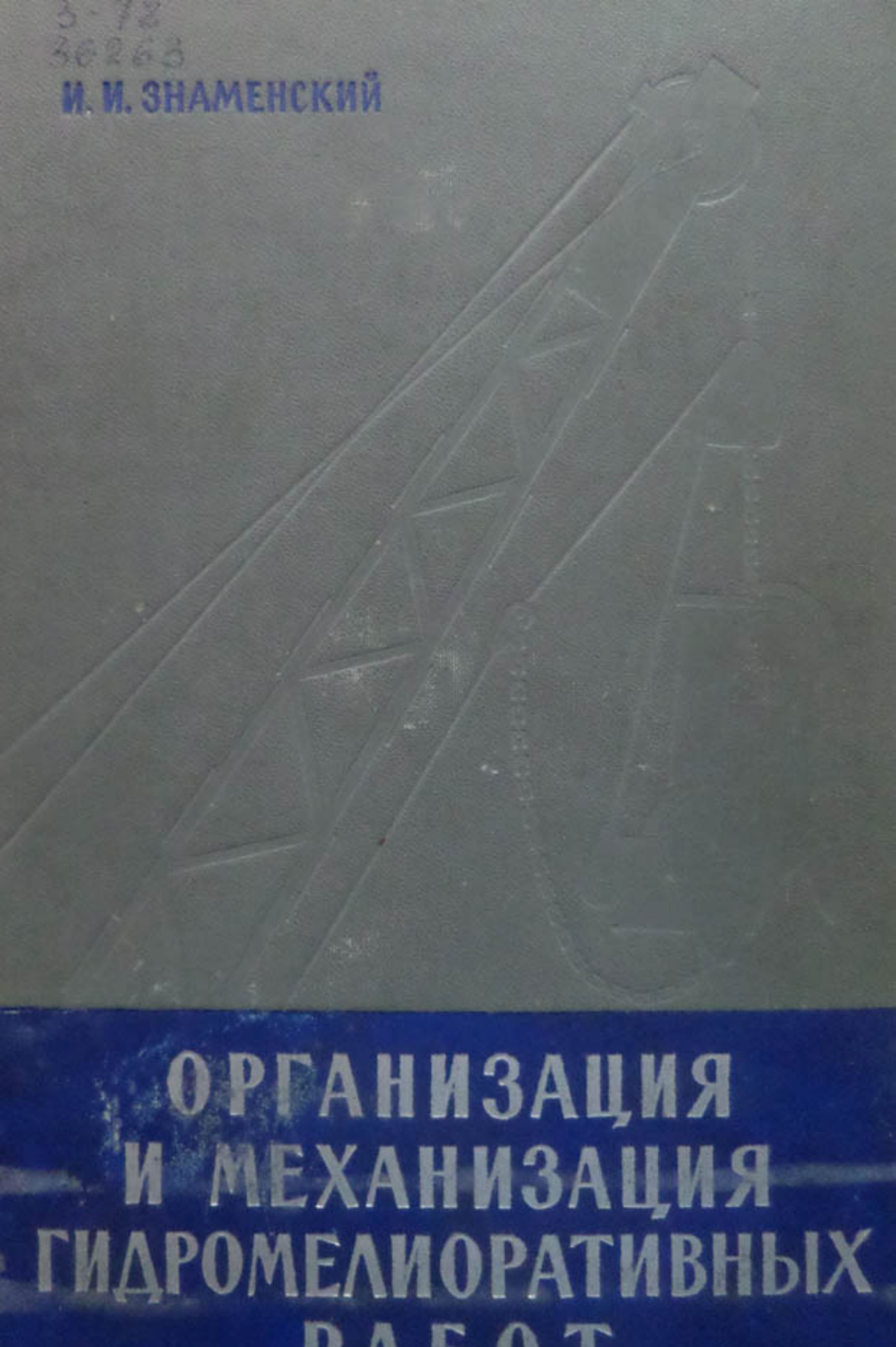
3-12
30263

И. И. ЗНАМЕНСКИЙ



ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕХАНИЗАЦИЯ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ РАБОТ

631.3
3 —

УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ
ДЛЯ ВЫСШИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Профессор

И. И. ЗНАМЕНСКИЙ

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕХАНИЗАЦИЯ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ РАБОТ

Второе, дополненное
и переработанное издание

Допущено Главным управлением сельскохозяйственных вузов Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебного пособия для гидромелиоративных институтов и факультетов

БИБЛИОТЕКА
№ 36263
ИЭП и т. АН. УзССР

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1960

ВВЕДЕНИЕ

XXI съезд Коммунистической партии Советского Союза начертал грандиозную программу дальнейшего развития народного хозяйства нашей страны, вступившей в период развернутого строительства коммунизма.

Текущее семилетие отличается небывалым ростом капитального строительства во всех отраслях народного хозяйства. Объем государственных капитальных вложений за 1959—1965 годы увеличивается до 1940—1970 млрд. руб., или в 1,8 раза в сравнении с предыдущим семилетием, что почти равно объему капитальных вложений в народное хозяйство за все годы существования Советской власти. Производительность труда в строительстве предусмотрено увеличить за семилетие на 60—65%.

Важнейшее значение в семилетнем плане приобретает энергетическое строительство. Наш народ приступил к решающей стадии осуществления идеи великого Ленина о сплошной электрификации страны. В течение семи лет мы должны ввести мощностей больше, чем было введено их за 41 год Советской власти, и почти столько же, сколько их нарастили за всю свою историю Англия, Франция и Западная Германия вместе взятые.

В общем плане развития народного хозяйства предусматривается значительное развитие не только гидроэнергетического, но и гидромелиоративного строительства. За годы семилетки будут закончены и введены в действие Южный Голодностепский канал первой очереди в Узбекской ССР, Кара-Кумский канал второй очереди в Туркменской ССР, Ак-Газинский массив орошения в Таджикской ССР, Главный Ширванский коллектор в Азербайджанской ССР, Терско-Кумский канал в РСФСР, Тюя-Бугузское и Чим-Курганское водохранилища в Узбекской ССР. Будут продолжены работы по строительству крупнейшей Кубань-Калаусской обводнительно-оросительной системы на Северном Кавказе, по осушению земель в РСФСР, Украинской ССР, Белоруссии, Прибалтике и строительству многих других мелиоративных объектов.

В связи с задачами крутого подъема сельского хозяйства нашей страны за годы семилетки площади орошаемых земель увеличатся на 1,9 млн. *га*, осушительные работы будут проведены на площади около 4 млн. *га*, а обводнение пастбищ в маловодных и безводных районах страны будет осуществлено на площади более 80 млн. *га*.

Для успешного выполнения плана гидромелиоративного строительства необходимы индустриализация строительного производства с широким применением сборно-блочных сооружений, внедрение более совершенных способов ведения работ, комплексная механизация всех трудоемких и тяжелых работ, автоматизация основных процессов строительства, максимальное повышение производительности строительных машин, механизмов и оборудования.

Наряду с улучшением технологии строительного производства необходимо широко применять экономичные сборные железобетонные конструкции и детали, в том числе из предварительно-напряженного железобетона, что обеспечит снижение стоимости и сократит сроки строительства гидротехнических сооружений.

Удешевление строительных работ и сокращение сроков строительства в значительной степени будут зависеть от конструктивных решений проектируемых сооружений, от правильной разработки и осуществления проектов организации и производства строительных и монтажных работ. При этом должна быть учтена возможность превращения строительного производства в механизированный поточный процесс сборки и монтажа сооружений из сборных элементов и узлов, изготовляемых на заводах.

В настоящем учебном пособии обобщены достижения науки и опыт передовиков гидромелиоративного строительства, рассмотрены вопросы рациональной организации производства земляных работ, обеспечивающей значительное повышение производительности экскаваторов, скреперов, бульдозеров и других современных землеройных машин, применяемых при строительстве земляных плотин, каналов, защитных валов, закрытых дрен, котлованов, сооружений и при планировке орошаемых земель. Рассмотрены гидромеханизированные и взрывные работы и условия их применения, пути рационализации транспортировки грунтов, даны рекомендации по комплексной механизации работ при строительстве каналов мелиоративных систем.

В книге освещены вопросы возведения гидротехнических сооружений как монолитных, так и сборно-блочных, из обычного и предварительно-напряженного железобетона, а также вопросы устройства бетонных и железобетонных одежд каналов и каналов-лотков, рекомендуемых в качестве мероприятий по борьбе с потерями воды из каналов оросительных систем. Рассмотрены также рациональные способы заготовки и облагораживания заполнителей бетона, арматурные и опалубочные работы, приготовление, транспортировка и укладка бетонной смеси, дана краткая характеристика машин и оборудования, применяемых при строительстве мелиоративных систем и сооружений.

Учитывая развитие строительства крупных гидротехнических узлов на водотоках, часть книги посвящена описанию рациональной организации и механизации работ по отводу воды во время постройки гидротехнических сооружений, возведению перемычек, перекрытию русел рек, пропуску строительных расходов во время и после перекрытия русел водотоков, водоотливу и водопонижению, а также комплексной механизации свайно-шпунтовых работ.

Значительное место в учебном пособии уделено освещению общих вопросов организации строительства гидромелиоративных систем и сооружений: проекту и смете строительства, организации строительного производства, финансированию, учету и отчетности, а также организации труда и техническому нормированию.

§ 1. ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

В дореволюционной России строительные работы производились в незначительных масштабах, выполнялись преимущественно вручную сезонными рабочими и лишь в теплое время года. Все это резко увеличивало стоимость строительства и сильно удлиняло сроки выполнения работ. Не существовало в то время и строительной индустрии: основная часть применявшихся немногочисленных строительных и транспортных машин ввозилась из-за границы.

В Советском Союзе после гражданской войны и восстановления народного хозяйства широко развернулись строительные работы, в том числе строительство гидротехнических сооружений. Начиная с первой пятилетки, наши заводы во все возрастающих темпах стали выпускать разнообразные

машины и механизмы, что создало базу для быстрого развития механизации работ; строительство начали вести круглогодично. Были созданы постоянные кадры строителей и инженерно-технических работников.

Важнейшим достижением советской науки и техники является внедрение индустриального способа производства строительных работ, который предусматривает использование новейшей техники, применение изготовляемых по типовым проектам на заводах и полигонах строительных деталей и конструкций с монтажом и сборкой их на стройке. Это сокращает сроки строительства, снижает его стоимость, повышает производительность труда и улучшает качество работ. Индустриализация строительства приближает производство к крупносерийному и заводскому, сводит ряд строительных работ к механизированному монтажу сборных бетонных и железобетонных конструкций. Растет заводское производство блоков, панелей, балок и других индустриальных деталей и конструкций, строятся крупные механизированные заводы по добыче заполнителей бетона, камнедробильные заводы и пр. Все шире применяются детали заводского изготовления при возведении гидротехнических сооружений на мелиоративной сети, дорожных мостов и труб, зданий и сооружений гражданского и промышленного назначения.

Индустриальное строительство характеризуется применением комплексной механизации и автоматизации строительных и монтажных работ, выполняемых непрерывно, круглогодично, с твердой технологией, укрупненными специализированными строительно-монтажными организациями.

В современных проектах промышленных и гражданских сооружений от 45 до 50%, а в некоторых передовых организациях г. Москвы и до 60% от полной стоимости зданий ложится на строительные детали и конструкции заводского изготовления.

В гидротехническом строительстве в настоящее время широко применяются арматурные фермы (армофермы), каркасы и панельные блоки, сооружения из бетонных элементов (блоков) и каналы-лотки при строительстве мелкой оросительной сети. Однако доля сборного бетона при строительстве крупных гидросооружений пока незначительна; невелика она и в строительстве тепловых электростанций. Мощность же современного кранового и транспортного оборудования допускает применение блоков весом 50—60 *т*. Отставание в использовании сборного бетона в гидротехническом строительстве необходимо преодолеть в ближайшее время; на первых порах можно перейти к наиболее легко укладываемым частям гидросооружений (основание сооружений, понур и водобой), а затем приступить и к постройке сборных бетонных плотин. Монтаж закладных частей, металлоконструкций, гидротурбин ведется, как правило, индустриальными методами.

Комплексная механизация основных и вспомогательных строительных и монтажных работ является обязательной при индустриальном методе. При комплексной механизации отдельные процессы выполняются машинами, типы и комплект которых подбирают по ведущей машине. Например, при использовании экскаватора для погрузки автомашин число их и грузоподъемность подбирают по экскаватору, как по ведущей машине; в свою очередь, типы автодорог должны соответствовать грузоподъемности автомашин.

Уровнем механизации называют отношение трудоемкости комплексно механизированных работ к общей трудоемкости всего объема работ. Если, например, механизированы работы, трудоемкость которых составляет 50% всего процесса, а кубатура таких работ составляет 80% всего объема работ, то уровень механизации будет $0{,}5 \times 0{,}8 = 0{,}40$, или 40%.

Для осуществления индустриального строительства необходимо возможно шире внедрять поточное и поточно-скоростное строительство, создавать преимущественно комплексные и специализированные бригады, надлежащим образом организовать строительную площадку и рабочие места отдельных строительных процессов, работать по графикам—годовым, месячным, недельным и суточным, по заранее составленным технологическим картам.

Индустриальное строительство необходимо вести по типовым проектам с максимальной стандартизацией отдельных блоков и строительных деталей. В промышленном и гражданском строительстве массовое повторение различных типовых зданий применяется в полной мере. В гидромелиоративном строительстве сооружения на оросительной и осушительной сетях повторяются сотни и тысячи раз. Строительство часто повторяющихся искусственных сооружений (шлюзов и шлюзиков, выпусков, вододелителей на ирригационных системах) из отдельных блоков широко применено у нас на ряде систем (например, в Ростовской области, на Самгорской оросительной системе и пр.).

Однако и при строительстве бетонных крупных гидросооружений (плотин, шлюзов) можно создать массовую повторяемость отдельных их частей — блоков, на которые разбивается каждое сооружение.

§ 2. ХАРАКТЕРНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ МЕХАНИЗАЦИИ РАБОТ

Для суждения о степени интенсивности оснащения стройки машинами пользуются понятием коэффициента энерговооруженности, т. е. отношением суммарной мощности двигателей, установленных на строительной площадке, к среднесуточному числу рабочих; коэффициент энерговооруженности измеряется в лошадиных силах или киловаттах на одного рабочего.

На строительстве Днепровской гидроэлектростанции коэффициент энерговооруженности был равен 1,8 *квт*/1 *чел*, а на строительстве Каховской ГЭС он был почти в шесть раз выше. За последние годы он поднялся на строительстве наших современных гидроэлектростанций до 7—8 *квт*/1 *чел*.

Для характеристики степени механизации пользуются также коэффициентом механовооруженности, т. е. процентным отношением стоимости строительных и транспортных машин на строительной площадке (без индустриальных предприятий) к годовой стоимости работ. Рост коэффициента механовооруженности на стройках сопровождается почти таким же ростом производительности труда.

В течение смены часть времени теряется на неизбежные простои, связанные с организацией работы строительной машины; например, при работе экскаватора с подачей грунта на транспортные приборы неизбежны потери времени на снабжение экскаватора топливом, на передвижку экскаватора из одного забоя в другой, а также на смену транспортных приборов под экскаватором. Коэффициентом использования машины во времени называется отношение времени чистой работы в течение смены к продолжительности смены:

$$K_{вр} = \frac{t_ф}{t_{см}},$$

где $t_ф$ — фактическое рабочее время в течение смены;

$t_{см}$ — длительность смены.

Значение $K_{вр}$ на стройках изменяется от 0,20—0,30 до 0,80—0,85 и даже до 0,90. Одной из основных задач организации работ является доведение $K_{вр}$ до возможного максимума.

Если рабочим органом землеройной машины является ковш, то коэффициентом наполнения $K_{нап}$ называется отношение объема нагруженного в ковш грунта или бетона к геометрической емкости ковша. $K_{нап}$ показывает, насколько полно используется емкость ковша машины в процессе работы.

В процессе копания грунт разрыхляется и поступает в ковш уже разрыхленным. В таком же виде находится грунт, перевозимый в транспортных приборах. Коэффициентом разрыхления $K_{разр}$ называется отношение объемного веса грунта в разрыхленном состоянии к объемному весу того же грунта в естественном залегании (в плотном теле). Коэффициент $K_{разр}$ всегда меньше единицы. Для грунтов разных категорий $K_{разр}$ изменяет-

ся от 0,87 (песок) до 0,60 (скальный грунт). Все подсчеты земляных работ ведутся в плотном теле.

Коэффициентом эксплуатации $K_{экс}$ называется отношение фактической производительности строительной машины $П_ф$ за определенный промежуток времени к максимально возможной (технической) производительности машины $П_{макс}$ за тот же промежуток времени, т. е.: $K_{экс} = \frac{П_ф}{П_{макс}}$.

Коэффициент эксплуатации всегда меньше единицы; он показывает степень использования строительной машины, что определяется двумя факторами: во-первых, степенью использования машины во времени, определяемой коэффициентом $K_{вр}$, и, во-вторых, интенсивностью работы машины в единицу времени, определяемой коэффициентом интенсивности $K_{инт}$; поэтому $K_{экс} = K_{вр} K_{инт}$.

Для циклично работающих машин с ковшом $K_{инт}$ зависит, в свою очередь, от двух факторов: во-первых, от количества выполняемых циклов в единицу времени и, во-вторых, от полноты наполнения ковша при каждом цикле. Первый фактор отражает степень уплотненности работы машины во времени и может быть выражен коэффициентом $K_{упл.\ вр}$, т. е. отношением фактического числа циклов в единицу времени $n_ф$ к максимально возможному по конструкции машины числу циклов в единицу времени $n_{макс}$:

$$K_{упл.\ вр} = \frac{n_ф}{n_{макс}}.$$

Следовательно:

$$K_{инт} = K_{нап} K_{упл.\ вр},$$

$$K_{нап} = \frac{V_{гр}}{V_{ков}},$$

где $V_{ков}$ — объем ковша;

$V_{гр}$ — объем грунта в ковше.

Таким образом:

$$K_{экс} = K_{нап} K_{упл.\ вр} K_{вр}. \qquad (1)$$

Отдельные коэффициенты, входящие в формулу (1) и определяющие численное значение коэффициента эксплуатации, зависят от разных факторов различной причинности. Так, например, производительность экскаватора, работающего с подачей грунта на транспортные приборы, зависит не только от опытности и квалификации экскаваторщика, но и от многих других важных причин. К ним относятся: число прикрепляемых к экскаватору автосамосвалов, организация ремонта экскаватора и прикрепленных к нему автомашин, а также состояние последних при выпуске их на трассу, технологическая комплектность экскаватора и обслуживающих его транспортных приборов, типы и состояние землевозных дорог и их соответствие с грузоподъемностью автомашин, освещенность района работ в ночное время, разбивка выемок на забои, взаимное расстояние между экскаваторным и транспортным ходами, определяющее угол поворота экскаватора на разгрузку, состояние места разгрузки и пр. Таким образом, производительность экскаватора зависит не только от квалификации экскаваторщика, но и от проекта и общей организации всего комплекса экскаваторных работ.

Хронометрируя работу строительных и транспортных машин, можно определить значения отдельных коэффициентов, входящих в формулу (1), выявить причины имеющихся задержек и простоев, принять меры к их устранению и повышению производительности машин.

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ЗЕМЛЯНЫЕ РАБОТЫ

Глава I

СТРОИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

§ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ ПО ТРУДНОСТИ И СПОСОБУ РАЗРАБОТКИ

При производстве земляных работ грунты рассматриваются с точки зрения трудности их разработки (сопротивление резанию или размыву) и как материал, из которого возводятся земляные сооружения—земляные плотины, дамбы, обратные засыпки. Грунты разделяются на м я г к и е, нескальные, которые могут разрабатываться землеройными машинами или способом гидромеханизации, и с к а л ь н ы е, для разработки которых необходимо применение взрывных работ.

Мягкие грунты разделяются по своим свойствам на с в я з н ы е и н е с в я з н ы е; к первым относятся глины и суглинки, а ко вторым—пески, супеси и гравелисто-галечные грунты.

Классификация частиц грунтов по крупности отдельных фракций грунтов характеризуется следующими данными.

1. Г л и н и с т ы е ч а с т и ц ы размером меньше 0,005 *мм* имеют форму пластинки с наибольшим размером 2 μ и толщиной 0,1 μ (1 μ = 0,001 *мм*). Грунты из таких частиц во влажном состоянии отличаются липкостью и пластичностью, при высыхании дают усадку, сильно набухают в воде, водонепроницаемы, обладают в естественном состоянии высокой капиллярностью (до 2 *м*), но незначительной скоростью капиллярного поднятия. Глины под действием нагрузки сжимаются сильно, но медленно.

2. П ы л е в а т ы е ч а с т и ц ы диаметром от 0,05 до 0,005 *мм* в воде не набухают или набухают незначительно, маловодопроницаемы, обладают значительной капиллярностью; они в меньшей степени проявляют свойство липкости. Пластичность их невелика.

3. П е с ч а н ы е ч а с т и ц ы диаметром от 2 до 0,05 *мм* обладают большой водопроницаемостью и малым капиллярным поднятием (0,2—0, 4 *м*). Песок сжимается значительно меньше глины, но быстро после приложения нагрузки.

4. Г р а в е л и с т ы е ч а с т и ц ы диаметром от 20 до 2 *мм* обладают еще большей водопроницаемостью, чем песчаные, и ничтожными капиллярными свойствами.

Г р а в и е м называются продукты выветривания горных пород крупностью от 2 до 60 *мм*, обычно с окатанными зернами. Породы из обломков с окатанными краями крупностью до 100 *мм* называются г а л ь к о й. Породы из угловатых, неокатанных обломков размерами 10—100 *мм* называются г о р н ы м щ е б н е м, а крупностью 2—10 *мм*—д р е с в о й.

Упрощенная классификация грунтов по их гранулометрическому составу для практических целей строительства может быть принята по таблице 1.

Если процентное содержание пылеватых частиц превышает число песчаных, то к названию таких грунтов прибавляется «пылеватый».

Таблица 1

Классификация грунтов

Род грунта	Содержание глинистых частиц меньше 0,005 мм по весу в %
Песок	Меньше 3
Супесь	3÷10
Суглинок	10÷30
Глинистый грунт	Больше 30

Согласно строительным нормам и правилам (СН и П) 1954 г. грунты по трудности разработки разделяются на 11 категорий, из которых первые три относятся к мягким, разрабатываемым землеройными машинами или гидромеханизацией, а грунты IV—XI категорий разрабатываются буровзрывным способом.

Для гидромеханизированных работ СН и П делят грунты на шесть категорий, в зависимости от расхода воды на 1 $м^3$ для разработки и транспортировки грунта. Для гидромониторной разработки консистенция пульпы по СН и П изменяется от 1 : 5 до 1 : 12, а для землесосной—от 1 : 8 до 1 : 22. Применяя передовую технологию гидромеханизированных работ, можно добиться более высокой консистенции.

Нормы СН и П на разработку грунта экскаваторами с оборудованием механических лопат предусматривают деление грунтов на три группы: I категории, II—III категорий и IV—XI категорий.

При разработке грунтов экскаваторами-драглайнами, скреперами, бульдозерами, грейдер-элеваторами, плужными канавокопателями СН и П предусматривают две группы грунтов: I категории и II—III категорий.

§ 2. ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТОВ НА ИХ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА

Влажность грунтов оказывает решающее влияние на их физические и строительные свойства. Глинистые и суглинистые грунты в зависимости от влажности могут изменять свое состояние от твердой фазы до полужидкой. Разработка твердых грунтов значительно труднее, чем грунтов в состоянии нормальной влажности; разработка полужидких грунтов весьма затруднительна.

Количество работы, затрачиваемой на уплотнение земляных плотин и насыпей, также резко изменяется в зависимости от влажности и является минимальным при определенной, оптимальной влажности. Свойства лессов и истинных плывунов резко меняются в зависимости от влажности. Трудность разработки грунтов землеройными машинами и производительность их также зависят от влажности грунта.

Поэтому необходимо регулировать влажность грунтов при производстве работ путем осушки земляных выемок, выбора соответствующих календарных сроков производства земляных работ или, наоборот, искусственного доувлажнения грунта при возведении земляных плотин и насыпей в тех случаях, когда грунты имеют влажность ниже оптимальной.

§ 3. ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ

Гидродинамическое давление, оказываемое фильтрующей через поры грунта водой на грунтовой скелет, равно $D = \Delta I$, где Δ—вес одной кубической единицы воды, а I—уклон потока. Направление гидродинамического давления совпадает с направлением движения воды; величина его не зависит от скорости фильтрации. Поэтому, хотя глинистые грунты и имеют ничтожный коэффициент фильтрации, гидродинамическое давление в них может

достигать значительных величин, так как вследствие малого размера пор градиент I значительно больше, чем в песчаных грунтах.

При движении воды сверху вниз гидродинамическое давление увеличивает давление от собственного веса грунта, а при движении снизу вверх оно уменьшает его. При некотором критическом градиенте I гидродинамическое давление равно объемному весу грунта.

Гидродинамическое давление грунтового потока имеет большое значение в строительной практике. Быстрая и интенсивная откачка воды из котлованов сопровождается высокими гидравлическими градиентами с большим гидродинамическим давлением, в результате чего откосы котлована могут оползать. Подобное оползание может образоваться и при быстром опорожнении оросительных каналов, прудов и водоемов для очистки или ремонта, или вообще при быстром спаде уровня воды.

Благодаря взвешивающему действию гидродинамического давления грунт может быть переведен из плотного состояния в рыхлое. Например, при поверхностном водоотливе из котлована в мелкопесчаных грунтах мелкие зерна могут взвешиваться поступающим через дно котлована фильтрационным потоком, а затем удаляться с откачиваемой водой; следствием этого может быть разрыхление и ухудшение свойств основания.

Исследования Водгео[1] показали, что сколько-нибудь заметные деформации песков под воздействием восходящего фильтрационного потока происходят, как правило, лишь при градиентах, бо́льших $0{,}6 \div 0{,}7$, а при градиентах, меньших $0{,}3 \div 0{,}5$, никаких деформаций не замечается вообще.

При быстром возведении намывных плотин из мелкозернистых грунтов со значительным содержанием глины и двустороннем намыве в средней части строящейся плотины образуется жидкое или полужидкое ядро, плохо отдающее воду. Если боковые призмы сложены из материала с недостаточным коэффициентом фильтрации, то действием статического напора и гидродинамического давления боковые призмы могут быть прорваны. Такие явления наблюдались при постройке ряда намывных плотин в США. Характерно, что аварии с этими плотинами произошли незадолго до окончания намыва их, когда напор и гидродинамическое давление достигали своего максимального значения за период постройки.

Глава II

ТРАНСПОРТИРОВКА ГРУНТОВ И ПУТИ ЕЕ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ

§ 1. УСЛОВИЯ УСПЕШНОЙ РАБОТЫ И ВИДЫ ЗЕМЛЕВОЗНОГО ТРАНСПОРТА

Транспортные, погрузочно-разгрузочные и складские работы на строительстве весьма трудоемки (около 50% от затраты рабочей силы на строительно-монтажные работы); стоимость их составляет 25—40% и более от общей стоимости строительства. Поэтому надлежащая организация транспортных работ и комплексная их механизация имеют большое значение, особенно при производстве земляных работ, так как основной операцией при их выполнении является перемещение земляных масс.

Стоимость транспортирования грунта составляет от 60 до 90% стоимости всего комплекса земляных работ. Организация землевозного транспорта сильно влияет на стоимость разработки и разгрузки грунта. Удельные затраты энергии на транспорт обычно в 2—7 раз превышают удельный расход на выемку грунта экскаватором.

Наиболее важным моментом при работе экскаваторов является организация работы транспортных машин без простоев экскаваторов в ожидании

---

[1] Всесоюзный научно-исследовательский институт водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии.

подачи к ним транспортных приборов. Длительность и стоимость разгрузки грунта в значительной степени зависят также от вида применяемого транспорта. В СССР применяются разнообразные транспортные приборы для перемещения земляных масс—от простых и дешевых (опрокидные вагонетки узкой колеи емкостью 0,75 $м^3$) до сложных и дорогих (60-тонные саморазгружающиеся платформы широкой колеи, 25-тонные автомобили-самосвалы, ленточные транспортеры, гидротранспорт).

Каждый из довольно многочисленных видов транспортных приборов имеет свою сферу применения, обусловливаемую родом землеройной машины, дальностью возки, рельефом местности, глубиной и размером выемок и котлованов, их кубатурой, характером разрабатываемых грунтов, наличием энергии, воды и пр. Имеется определенная взаимосвязь между грузоподъемностью транспортных приборов и видом применяемых землеройных машин; каждый из транспортных приборов имеет свои пределы рационального применения. Поэтому правильный выбор типа транспортных приборов, их грузоподъемности и числа, отвечающего производительности землеройных машин, оказывает большое влияние на успешность земляных работ (производительность и стоимость разработки). Однако одного удачного выбора типа транспорта недостаточно; необходимо обеспечить ему надлежащие условия работы. В этом отношении решающее значение принадлежит качеству землевозных дорог и организации ремонта транспортных приборов.

Обязательным условием успешного выполнения земляных работ является своевременное устройство и систематическое поддержание в хорошем состоянии землевозных дорог, грузонапряженность которых бывает весьма значительной.

Правильная организация землевозного транспорта способствует повышению производительности землеройных и транспортных машин, снижению стоимости работ и ускорению строительства.

На гидромелиоративных и гидротехнических стройках основными видами землевозного транспорта грунта являются автомобильный транспорт—при разработке грунтов сухопутными землеройными машинами, и гидротранспорт—при гидромеханизированной разработке.

Весьма перспективный, производительный и дешевый вид транспорта—ленточные транспортеры—пока, к сожалению, мало распространен на стройках. Недостаточно используется также эффективный транспорт большегрузными саморазгружающимися тележками, работающими на прицепе у тракторов или тягачей. Железнодорожный транспорт широкой и узкой колеи при землевозных работах применяется значительно реже автотранспорта.

§ 2. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Для автомобильного транспорта допускаются значительно более крутые подъемы и меньшие радиусы поворотов, чем для железнодорожного транспорта; поэтому проведение автомобильных дорог связано со значительно меньшим объемом земляных работ. Это обстоятельство, а также меньшая длина автодорог на 1 *км* дальности возки (по сравнению с железнодорожным транспортом), уменьшают расходы, ложащиеся на 1 $м^3$ перевозимого грунта. Возможность применения значительно более крутых подъемов и меньших радиусов поворота позволяет протрассировать автомобильную дорогу в условиях стесненного фронта работ и пересеченного рельефа местности.

На гидромелиоративных и гидротехнических работах автотранспорт используется весьма широко.

При разработке глубоких котлованов плотин, гидростанций, насосных станций, при постройке земляных плотин длина и объем въездов и съездов для автомобилей значительно меньше, чем для железнодорожного транспорта. По этим соображениям на постройке канала имени Москвы для отвозки земли из глубоких котлованов шлюзов и насосных станций в условиях тес-

ного фронта работ применялся только автомобильный транспорт. Такова же практика Волгодонстроя, Куйбышевгидростроя, Сталинградгидростроя, Горьковгэсстроя, Каховской ГЭС и других строек.

Недостатком автотранспорта является его дороговизна. Однако следует иметь в виду, что на производительность и стоимость работ по отвозке грунта автомашинами оказывают большое влияние надлежащее устройство и состояние автомобильных дорог, тип грузовой автомашины, использование прицепов, организация экскаваторных работ. Стоимость перевозки грунта автотранспортом при соответствующих условиях может быть резко снижена.

Серьезный недостаток автотранспорта состоит в более низком коэффициенте использования рабочего времени экскаваторов $K_{вр}$ при автомобильной отвозке по сравнению с отвозкой по железной дороге. Однако при хорошей организации автотранспортных работ $K_{вр}$ экскаватора может быть повышен до столь высоких значений, как 0,93—0,94, недоступных при железнодорожной отвозке. При хороших дорогах и правильной организации работ автотранспорт во многих случаях может успешно конкурировать с железнодорожным транспортом.

Важное преимущество автотранспорта состоит в том, что, в отличие от железнодорожного транспорта, его можно приспосабливать к изменяющимся условиям работы.

§ 3. ЗЕМЛЕВОЗНЫЕ АВТОДОРОГИ НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Различают четыре вида землевозных автодорог: забойные, котлованные, магистральные и отвальные.

Забойные автодороги обслуживают работу экскаваторов в данном забое (рис. 1); по окончании разработки эскаватором одного забоя и перехода его в следующий дорогу устраивают на новом месте. Движение по этим дорогам, как правило, производится только в одном направлении, дорога может

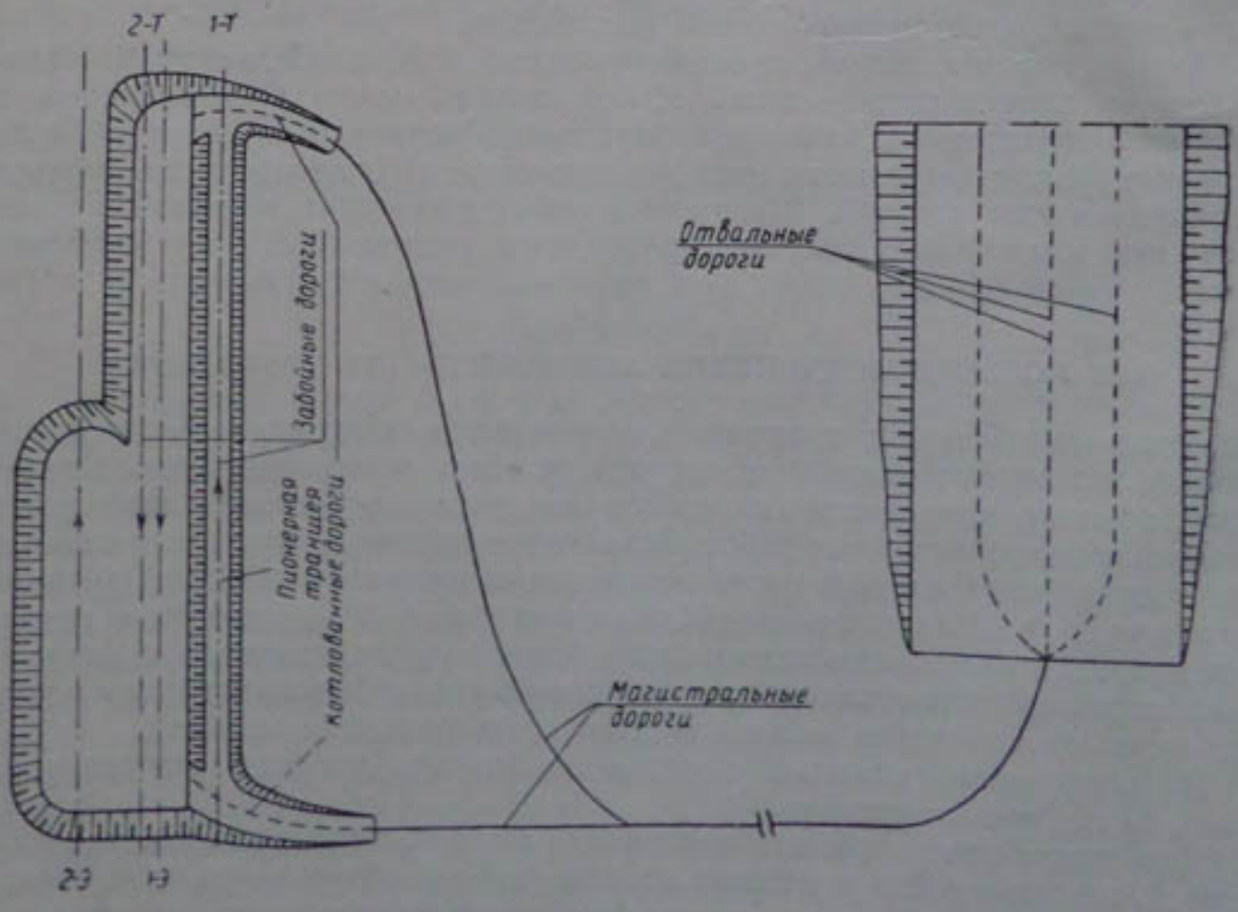


Рис. 1. Забойные, котлованные, магистральные и отвальные автодороги:
1—Э; 2—Э и т. д.—ось последовательных экскаваторных ходов; *1—Т; 2—Т* и т. д.—ось последовательных забойных дорог.

обслуживать один или несколько экскаваторов. Уклон дорог близок к нулевому, они прямолинейны, без поворотов. Эти дороги временные и должны быть недорогими.

При наличии хороших забойных автодорог ликвидируются простои экскаваторов в распутицу и связанные с этим непроизводительные расходы; устраняются также задержки в сроках окончания работ и пуска сооружений в эксплуатацию. Затраты на строительство забойных дорог, способствующих ликвидации ежегодных осенних и весенних простоев экскаваторов длительностью в 1—2 месяца, быстро окупаются. В сухие летние месяцы эти дороги можно устраивать облегченными или даже вовсе их не строить, ограничиваясь только планировкой полотна и поддержанием его в проезжем состоянии; это существенно снизит удельную стоимость забойных автодорог (на 1 $м^3$ разрабатываемого грунта).

Котлованные автодороги, по которым автомашины въезжают в котлован и выезжают из него, необходимы в течение всего времени разработки котлована. При этом по мере разработки котлована трассы этих дорог могут меняться.

Срок службы котлованных дорог определяется сроками разработки котлована и строительства сооружений в нем. Движение груженных грунтом автосамосвалов происходит на подъем.

Магистральные автодороги, идущие от котлованов к свалкам грунта или земляным плотинам, обслуживают автотранспорт, перевозящий грунт от всех экскаваторов, которые работают в котловане. Кроме того, по ним могут перевозиться и другие грузы строительства.

Отвальные дороги работают в течение всего срока разработки котлована. По ним происходит движение автомашин, обслуживающих все экскаваторы, работающие в котловане.

Во время производства работ дороги на свалках должны перемещаться как в плане, так и по высоте. Если грунт из котлована перемещается в земляную плотину, то при каждом переносе автодороги материал ее должен полностью убираться. Для ликвидации простоев автотранспорта и экскаваторов, особенно в распутицу, дороги на свалках должны поддерживаться в хорошем состоянии.

Классификация дорог по СН и П. Промышленные автомобильные дороги по СН и П разделяются на три категории:

I	категория	—	с интенсивностью	движения	до 100	*автомоб/час*
II	»	»	»	»	15 ÷ 100	»
III	»	»	»	»	менее 15	»

Если принять время цикла экскаватора равным 0,5 *мин*, число ковшей, нагруженных в автосамосвал, равным четырем, то по забойной дороге будет проходить 30 автосамосвалов в час. Если в забое работает несколько экскаваторов, то интенсивность движения соответственно увеличивается.

Следовательно, применительно к указанной классификации, забойные дороги можно отнести ко II категории промышленных автодорог, а в случае одновременной работы в данном забое более четырех экскаваторов — к I категории.

При длине котлована, например, в 700 *м* и разработке его экскаваторами СЭ-3 с ковшами емкостью 3 $м^3$ удельный объем забоя будет около 200 $м^3$, а объем забоя на всю его длину будет $200 \times 700 = 140\,000$ $м^3$. При производительности экскаватора в 6000 $м^3$/*сутки* один экскаватор пройдет забой примерно в месяц, а если забой будет разрабатываться одновременно несколькими экскаваторами, то срок службы забойной дороги будет в соответствующее количество раз меньше.

Следовательно, характерными свойствами забойных автодорог являются большая интенсивность движения и кратковременность их работы в одном положении.

Характерной чертой землевозных дорог всех категорий является маятниковое движение и небольшая дальность возки (1—3 *км*).

Котлованные, магистральные и отвальные дороги на крупных стройках по интенсивности движения должны быть отнесены к первой категории, так как они обслуживают все экскаваторы, разрабатывающие котлован.

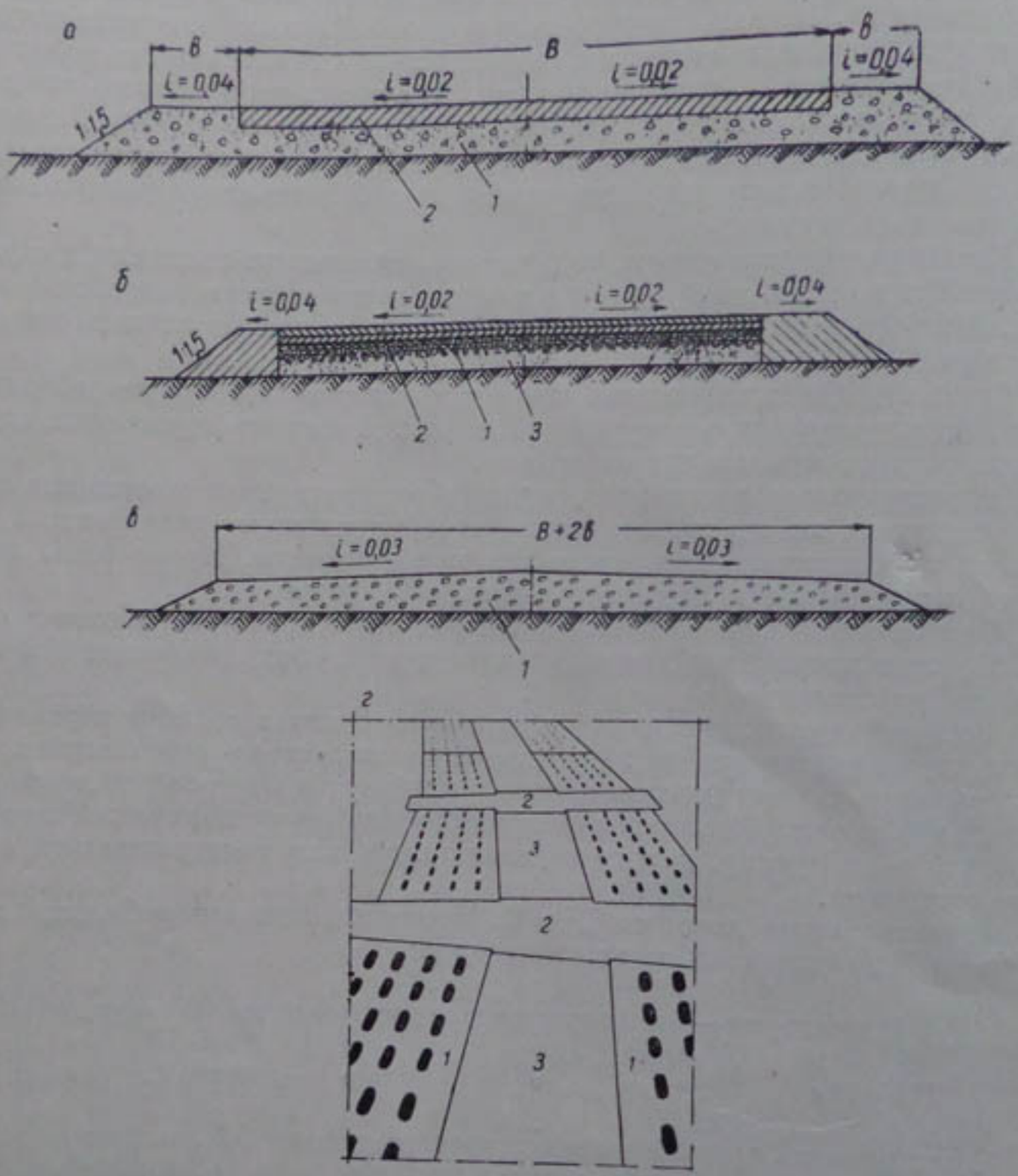


Рис. 2. Типы строительных дорог, применявшихся на Куйбышевгидрострое:

а—бетонные дороги: *1*—горная масса или песок, $h=40 \div 50$ см; *2*—бетон, $h=20$ см; *В*—ширина проезжей части дороги; *в*—ширина обочины. *б*—дорога с асфальтобетонным покрытием: *1*—щебеночное основание, $h=20$ см; *2*—двухслойный мелкозернистый асфальтобетон (верхний слой 3,5, нижний 4,5 см); *3*—песчаный подстилающий слой, $h=10$ см. *в*—улучшенная дорога из сборных железобетонных плит: *1*—колейные решетчатые плиты; *2*—трапецеидальные плиты на поворотах; *3*—межколейное пространство.

Котлованные и магистральные дороги в отличие от забойных эксплуатируются в течение значительно более длительного срока.

По СН и П 1954 г. промышленные внутризаводские автодороги I—II категорий должны иметь наибольший подъем $i=0{,}060 \div 0{,}070$ и наименьший радиус закругления $30 \div 50$ *м*.

Для строительных автодорог, учитывая их быструю самоокупаемость, руководящие подъемы следует назначать в пределах 0,060—0,070, а наименьшие радиусы закруглений—в пределах 25—30 *м*.

По смыслу СН и П и по характеру своей работы котлованные и магистральные дороги на крупных стройках должны быть отнесены к дорогам I категории; например, на Куйбышевгидрострое применялись бетонные и асфальтобетонные дороги I категории.

Толщина дорожной плиты из монолитного бетона составляла 0,20 *м*, в основании ее лежал слой горной массы (продукт вскрытия горных пород каменных карьеров) или песок слоем в 0,4—0,5 *м* (рис. 2, *а*)[1]. Иногда применялись и двухслойные основания из горной массы и песка. Температурные швы принимались через 5—6 *м*, марка бетона не ниже 200 *кг/см*^{2}.

За рубежом[2] рекомендуют для бетонных дорог брать марку бетона не ниже 350 *кг/см*^{2} и применять бетонную одежду толщиной 20—25 *см*.

Опыт многолетней эксплуатации бетонных дорог на Куйбышевгидрострое в условиях интенсивного движения автомашин большой грузоподъемности показал их наибольшую устойчивость (по сравнению с другими дорогами) и возможность рекомендации этого типа дорог на участках с особо интенсивным движением. Работы по устройству таких дорог могут быть полностью механизированы; укладка бетона на дорогах должна быть приурочена к теплому времени года.

Асфальтобетонные дороги. На Куйбышевгидрострое при интенсивности движения до 2000 машин в сутки для пропуска тяжелого транспорта строили асфальтобетонные дороги с однослойным и двухслойным основанием с предварительной пропиткой его (рис. 2, *б*). Дороги без предварительной пропитки основания были менее устойчивыми. Это подтверждается и зарубежной практикой, где качеству поверхностной обработки уделяется особое внимание.

Цементно-бетонные и асфальто-бетонные покрытия следует применять для котлованных и магистральных дорог с интенсивным движением.

Улучшенные дороги из горной массы. В качестве забойных могут применяться дороги, улучшенные горной массой (рис. 2, *в*) с толщиной слоя в 30—50 *см*. На таких дорогах интенсивность движения, по данным Куйбышевгидростроя, допускалась до 1000 машин в сутки. Стоимость дороги около 7—12 руб. за 1 *м*^{2}, что при ширине дороги 4 *м* соответствует 28 000—48 000 руб. за 1 *км*. Однако горная масса, особенно при интенсивном движении большегрузных автомашин, быстро прорезается и образуются колеи, подлежащие заделке.

Такие дороги с успехом использовались в качестве забойных на Богураевском руднике на глинистом основании, при условии их предварительной укатки и надлежащей эксплуатации.

Более надежным типом забойных автодорог в условиях интенсивного движения является щебеночное покрытие с верхним слоем, обработанным органическим вяжущим материалом (поверхностная обработка, полупропитка, пропитка, обработка способом смещения). Для придания прочности и устойчивости покрытию толщину его следует назначать не менее 20—25 *см*, а слоя пропитки—не менее 6 *см*. Стоимость 1 *м*^{2} такой дороги, по данным Куйбышевгидростроя, составляла около 30 руб., что при ширине ее в 4 *м* определяет стоимость в 120 000 руб. за 1 *км*. При удельном объеме забоя, равном 150—200 *м*^{3}/1 пог. *м*, это ложится на стоимость 1 *м*^{3} вывозимого грунта в сумме 0,25—0,20 руб.—для дорог с улучшенной горной массой и около 0,8—0,6 руб.—для дорог со щебеночным покрытием и пропиткой его.

Если учесть, однако, что необходимость в специальных забойных дорогах, например при глинистом и суглинистом основании, бывает только в периоды весенней и осенней распутицы, то стоимость забойных дорог на 1 *м*^{3} разрабатываемого грунта уменьшится в несколько раз.

---

[1] Материалы по дорогам, применявшимся на Куйбышевгидрострое, даны А. Д. Шабановым на основании произведенного им обследования.

[2] В. Т. Федоров, В. М. Могилевич, В. М. Безрук. Десятый международный конгресс. «Автомобильные дороги» № 1, 1956.

Для всех указанных типов дорог обязателен отвод воды от земляного полотна (кюветы, нагорные и забанкетные канавы) и его осушение.

Отвальные дороги. Особенность этих дорог состоит в необходимости весьма частого перемещения их как в плане, так и по высоте. Для обеспечения движения в таких условиях непрерывно разравнивают отсыпаемый грунт и при необходимости добавляют к глинистому грунту песок, и наоборот.

Сборные железобетонные дороги из армированных плит размером 2×2 *м*, толщиной 17—20 *см* с защитным слоем в 2,5—3 *см*, весом около 2 *т* впервые были применены на Куйбышевгидрострое при глинистом и суглинистом основании. Плиты укладывались на слой песка или горной массы, а при песчаном и гравийном основании—непосредственно на спланированный слой грунта. Швы между плитами заполнялись песком. Укладка одной плиты краном на Куйбышевгидрострое занимала 3—4 минуты при работе звена из двух стропщиков и четырех укладчиков.

К недостаткам дороги относится наличие отдельных выступов плит и удары о них автомашин, что является в отдельных случаях причиной разрушения плит. Поэтому скорость движения автомашин на дороге из сборных плит должна быть меньше, чем на дорогах из монолитного бетона. Так как стоимость перекладки таких дорог, с учетом необходимости восстановления повреждений плит, довольно значительная, то применение этих покрытий может быть экономически оправдано лишь при большой интенсивности движения.

Серьезным недостатком дорог из сборных железобетонных плит является огромная их стоимость. Резкое их удешевление достигается при устройстве колейных плит, имеющих овальные конусообразные отверстия, расширяющиеся книзу (рис. 2, *г*). Плиты делают шириной 1—1,2 *м*, длиной 2,5—3,5 *м*, толщиной 12—20 *см*, весом 0,5—1,5 *т*; бетон марки не ниже 300, морозоустойчивый. Наличие отверстий сокращает расход материалов на 25—30%, придает плитам более надежную опору и сцепление с грунтом, обеспечивает лучшую вертикальную и горизонтальную утойчивость

Плиты укладывают на заранее спланированное основание, обеспечивающее хороший сток атмосферных вод с полотна дороги. При очень слабой несущей способности грунтов и продолжительном сроке службы дороги устраивают искусственное основание толщиной 8—12 *см* из песка, шлака, гравия. Промежутки между колеями заполняются песком, гравием, шлаком.

На поворотах применяются сплошные плиты, укладываемые поперек колеи.

Интересные результаты получены при строительстве лесовозных колейных автодорог из железобетонных плит с отверстиями[1]. Сначала вывозка древесины на автомашинах ЗИЛ-150 и ЗИЛ-152 производилась по лежневым дорогам. Однако для них расходовалось значительное количество древесины—до 1000 $м^3$ на 1 *км*; средняя стоимость 1 *км* такой дороги составляла около 91 тыс. руб., затраты на ремонт были очень велики (около 30% стоимости дороги), причем капитальные ремонты требовались уже со второго года эксплуатации.

С 1957 г. начали строить автодороги из сборных переносных железобетонных плит с отверстиями, уложенных в две колеи с промежутком между ними. Плиты после снятия растительного слоя укладывались на подсыпке толщиной 10—12 *см*; они обладали хорошей устойчивостью; на некоторых участках дорог плиты укладывались даже без снятия растительного слоя, причем первоначальная неустойчивость плит исчезала после обкатки дороги. Средняя стоимость 1 *км* таких автодорог составляла около 183 тыс. руб.

Стоимость дорог резко снижается при применении повторных перекладок плит, возможность чего доказана практикой строительства временных подъездных путей при сооружении автострады Москва—Ленинград, где плиты

---

[1] *С. А. Финкельштейн.* Лесовозные дороги из железобетонных плит. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 5, 1958.

перекладывались шесть раз, а также на строительстве Котласбумстроя, где плиты переносились пять раз. При переносах выходило из строя в первом случае 10% плит и во втором 2%. С учетом указанных данных стоимость 1 *км* дороги при шестикратном переносе составляет от 60 до 72 тыс. руб.

Хорошее состояние автодорог после трехлетней эксплуатации и низкая их стоимость показывают, что колейные переносные плиты с отверстиями вполне целесообразно применять для землевозных автодорог.

Сборные деревянно-щитовые дороги. Дороги из сборных переставляемых щитов, укладываемых на основание из пластин или брусков, довольно широко применялись на постройке канала имени Москвы.

Однако на Куйбышевгидрострое, где использовались мощные автомашины грузоподъемностью 10—25 *т*, этот тип дорог получил значительно меньшее распространение из-за быстрого (через 2—4 месяца) их разрушения, низкой допускаемой скорости движения автомашин и высокой стоимости (до 30 тыс. руб. за 1 *км* при ширине дорог 4,5 *м*).

Эксплуатация дорог. Землевозные автодороги необходимо в течение всего года поддерживать в хорошем состоянии. Дорожно-эксплуатационные отряды должны снабжаться грейдерами и тракторными отвалами для планировки полотна дорог, катками, снегоочистителями, поливными машинами, а для асфальтобетонных дорог—асфальтобетоноукладчиками и пр.

На 1 *км* дороги выделяется 3—4 рабочих. В зимнее время на заносимых участках устанавливают щиты и систематически расчищают дороги от снега.

В весеннее время необходимо заблаговременно отрывать снежные канавы в кюветах, а перед наступлением снеготаяния прокапывать канавы и поперек дороги в сторону кюветов.

В летнее время производят ямочный ремонт дорог, ремонт искусственных сооружений, систематически очищают дороги от грязи и пыли. В весеннее и осеннее время основное внимание уделяют удалению грязи и отводу воды. Важное значение при эксплуатации имеет осушение полотна дороги.

§ 4. АВТОСАМОСВАЛЫ

Автомобильная промышленность СССР добилась больших успехов в массовом производстве бортовых грузовых автомашин и автосамосвалов.

В настоящее время у нас выпускаются следующие автомобили-самосвалы:

ГАЗ-93А	грузоподъемностью	2,25 *т*	с	бензиновым	двигателем	70 л. с.
ЗИЛ-585В	»	3,5 »	»	»	»	90 » »
МАЗ-205	»	5,0 »	»	дизельным	»	110 » »
ЯАЗ-210Е	»	10,0 »	»	»	»	165 » »
МАЗ-525	»	25,0 »	»	»	»	300 » »

Все указанные самосвалы разгружаются назад. Начинается выпуск автосамосвалов с боковой разгрузкой (КАЗ-600, МАЗ-506, ЯАЗ-218, грузоподъемностью соответственно 3,5; 5—6 и 10 *т*).

Разгрузка назад имеет ряд существенных недостатков: самосвалам обычно приходится маневрировать, что увеличивает время разгрузки и усложняет работу; разгрузка назад не допускает использования прицепов, при наличии которых производительность автотранспорта существенно увеличивается, а стоимость работ значительно снижается. Следует иметь в виду, что при работе автосамосвалов с прицепом технологическая комплектность между экскаватором и самосвалом повышается, вследствие чего значительно повышается и производительность экскаваторов.

В США серийно выпускаются автосамосвалы грузоподъемностью 60 *т* с двумя дизелями мощностью 700 *л. с.*, весом 44 *т*. Самосвал имеет 12 пневматиков низкого давления; шины 32-слойные; длина самосвала около 10 *м*, ширина и высота 3 *м*.

БИБЛИОТЕКА № 36263 ИФП и Г. АН. УзССР

Выпуск автосамосвалов большой грузоподъемности освоен и нашей промышленностью. Минский автомобильный завод производит дизельные автосамосвалы МАЗ-530 грузоподъемностью 40 *т*, с двигателем мощностью 450 *л. с.*

§ 5. РАБОТА АВТОСАМОСВАЛОВ С ПРИЦЕПАМИ

Работа бортовых машин с прицепами прочно вошла в практику автотранспортных организаций Москвы, Ленинграда, Куйбышева и других городов. Многолетний опыт показал, что при использовании прицепов можно почти вдвое увеличить грузооборот наличного автопарка[1] и высвободить значительное количетво машин для других работ.

Выгодность работы с прицепами объясняется тем, что вес перевозимого груза автомашиной с прицепами примерно вдвое больше, чем без прицепов, а уменьшение скорости при наличии прицепа невелико (порядка 10—20%). Стоимость транспортировки также значительно снижается, так как стоимость машино-смены прицепа в несколько раз меньше стоимости машино-смены автомашины.

Условия работы автосамосвалов на стройплощадках, конечно, значительно отличаются от условий работы бортовых автомашин в городах и пригородах. Поэтому для суждения о целесообразности работы автомашин с прицепами в условиях стройплощадки необходимо принять во внимание ряд важных факторов.

К характерным особенностям землевозных автодорог относятся: а) небольшая дальность возки, обычно до 2—3 *км*; б) огромная грузонапряженность движения; в) челночная работа; г) небольшой срок работы (для забойных и отвальных автодорог).

В этих условиях устройство хороших землевозных автодорог с уклоном $i=0{,}060 \div 0{,}080$ и удельным сопротивлением при движении $W_0 = 60 \div 80$ *кг/т* быстро окупается вследствие увеличения скорости движения автомашин, повышения их производительности, уменьшения износа, сокращения расхода горючего, резины.

Из графика (рис. 3) видно, как изменяется стоимость транспортировки C 1 $м^3$ грунта на 1 *км* автосамосвалами, тракторными прицепами и транспортером в зависимости от дальности транспортирования $L_{тр}$ 0,5—5,0 *км* и кубатуры котлована $V_{котл}$ 50 000 и 1 000 000 $м^3$.

Если принять возможную экономию вследствие увеличения скоростей движения при хороших дорогах в сумме 0,3 руб. при транспортировании 1 $м^3$ грунта на 1 *км* и производительность экскаваторов в 20 000 $м^3$/*сутки*, то устройство дороги длиной в 2 *км* стоимостью в 200 000 руб. за 1 *км* окупится в очень короткий срок (около 2—3 месяцев).

Достоинство хороших автодорог состоит также в уменьшении аварийных простоев и ремонтов автомобилей, что существенно сокращает и простои экскаваторов. Например, на одной крупной современной гидростройке простои экскаваторов из-за неисправности дорог и отсутствия транспорта составили за три года 18,3% от времени в наряде и 39,8% от общего времени простоев. Столь крупные потери рабочего времени экскаваторов и обслуживающего транспорта отражаются, конечно, на темпах строительства и на сроках пуска в ход строящихся объектов.

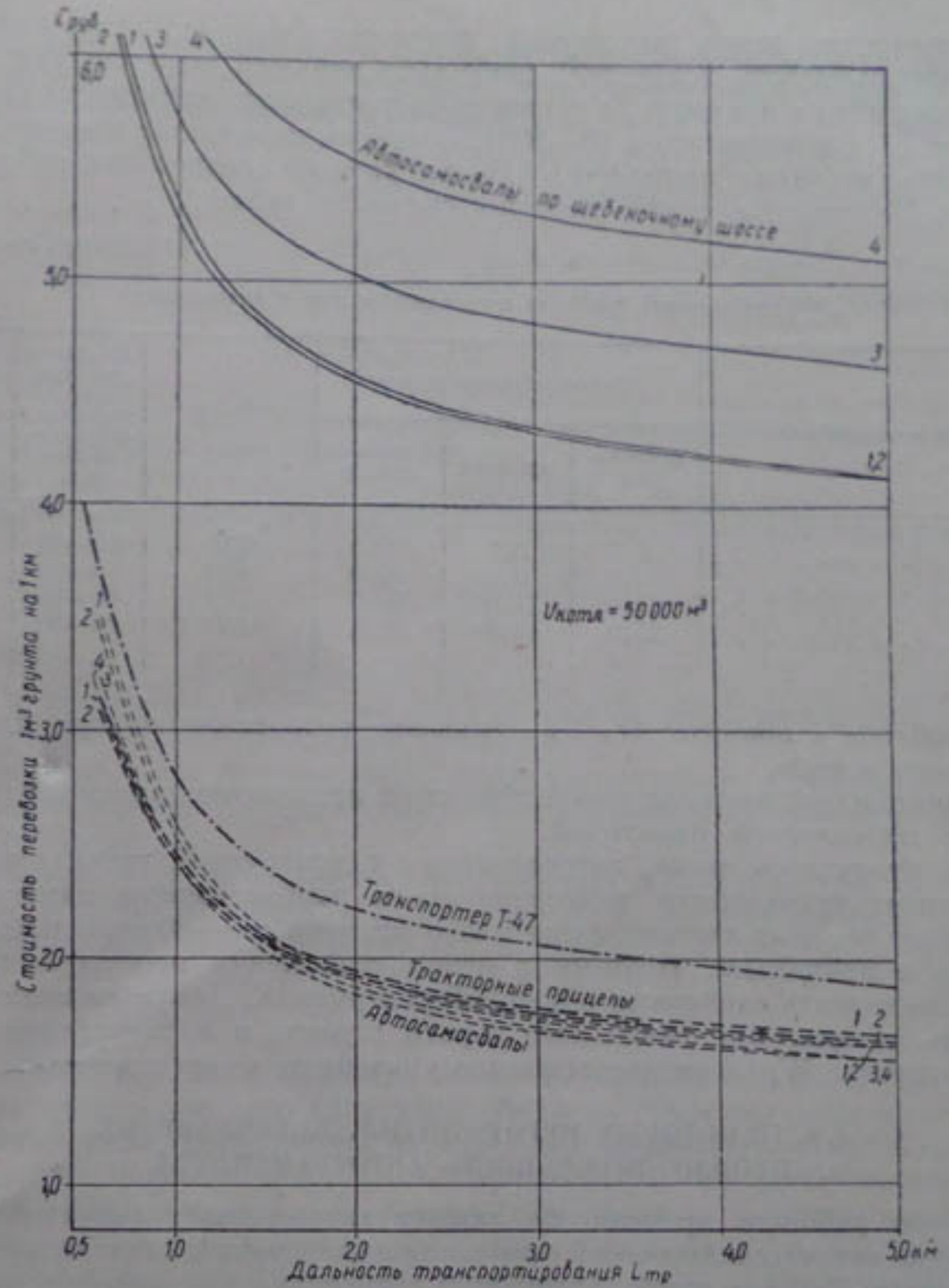
Таким образом устройство хороших землевозных дорог целесообразно и выгодно с точки зрения повышения производительности землеройных машин, снижения стоимости работ и ускорения их.

Но при наличии хороших дорог тяговые характеристики автосамосвалов позволяют работать с прицепами.

Автосамосвал на подъеме $i=0{,}60$ может тянуть прицеп одинаковой с ним грузоподъемности при удельном сопротивлении движению W_0, равном 75, 100 и 140 *кг/т* (соответственно для ЗИЛ-585В, МАЗ-205 и МАЗ-525).

---

[1] «Бюллетень строительной техники» № 5, 1955.



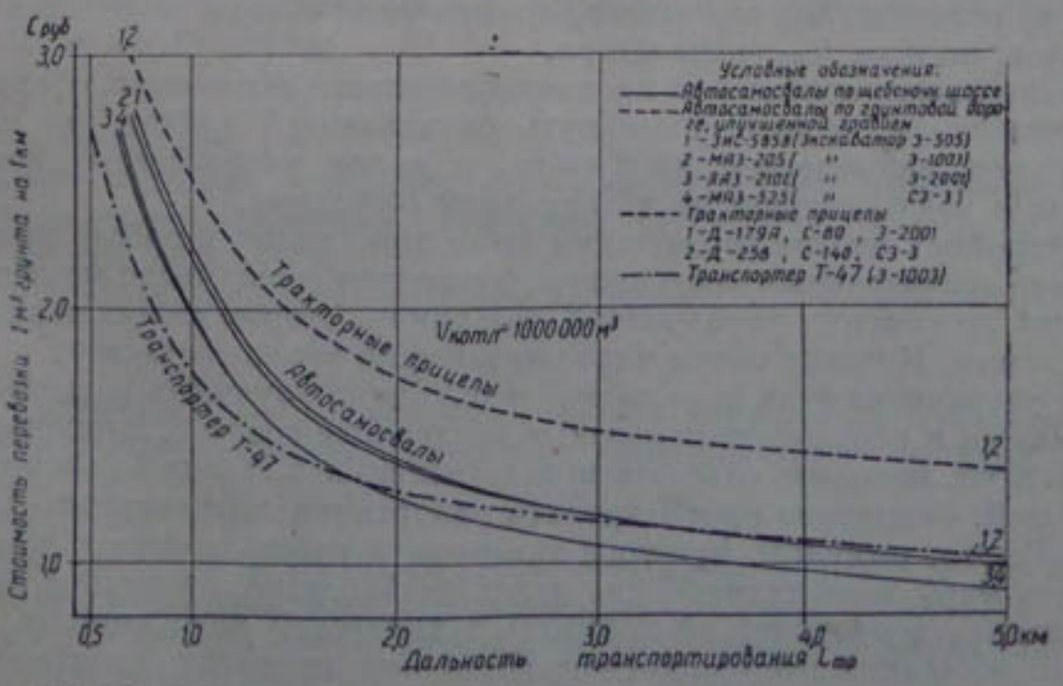


Рис. 3. Стоимость транспортирования 1 грунта автосамосвалами, тракторными прицепами и транспортером Т-47.

Производительность автопоезда возрастает немного медленнее, чем его грузоподъемность вследствие несколько меньшей скорости при движении автомашины с прицепом, а также из-за увеличения времени на погрузку и разгрузку. Оценивая это в 10—20%, получаем повышение производительности автосамосвала с прицепом в 1,8—1,9 раза по сравнению с работой без прицепа. Результаты наших расчетов сводим в таблицу 2.

Таблица 2

Эффективность работы автосамосвалов с прицепами

Марка автосамосвала	Грузоподъемность в *т*			W_0+i *кг/т*	Повышение производительности автомашин в %	Снижение стоимости перевозок в %
	самосвала	прицепа	автопоезда			
ЗИЛ-585В	3,5	3,5	7,0	135	60—80	27—36
МАЗ-205	5,0	5,0	10,0	160	60—80	20—36
МАЗ-525	25,0	25,0	50,0	200	60—80	20—30
МАЗ-525	25,0	14,4[1]	39,4	260	30—40	13—19

В таблице 2 принято: W_0+i—удельное сопротивление при движении на подъеме в *кг/т*.

Значительный экономический эффект от применения прицепов подтверждается многолетней практикой.

Как отмечалось выше, автосамосвалы с разгрузкой назад имеют ряд недостатков: усложняется разгрузка из-за необходимости маневров, на выполнение которых затрачивается много времени (30—60 *сек*); невозможно работать с прицепами. Поэтому в целях повышения производительности следует применять самосвалы с боковой разгрузкой. Для возможности применения автоприцепов необходимо дороги строить и эксплуатировать так, чтобы величина W_0+i не превосходила указанных выше значений.

§ 6. НЕКОТОРЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ, ПОВЫШАЮЩИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АВТОТРАНСПОРТА

Потери рабочего времени на замену автомашин у экскаватора $t_{маи}$ и ожидание автомашинами своей очереди под разгрузку достигают значительных величин. Так как смена автомашин у экскаватора многократно повторяется, то величина $t_{маи}$ оказывает влияние не только на время цикла автосамосвалов, но и на $K_{вр}$ экскаватора.

Значительного повышения производительности автомашин, обслуживающих экскаваторы, можно достигнуть организацией работы по часовому графику под наблюдением диспетчера, а также устройством двухпутных автодорог и поддержанием их в исправном состоянии.

На стройках многие автомашины часто приступают к работе не в начале смены, а со значительным запозданием; в середине смены число машин, обслуживающих экскаватор, уменьшается, так как некоторые из них оказываются неисправными. К концу смены число автомашин вновь возрастает.

Для устранения этих недостатков необходимо улучшить качество ремонта автомашин и обеспечить ремонтные мастерские соответствующими запасными частями, повысить ответственность механиков гаражей за исправность автомобилей, ежедневно просматривать рапортички экскаваторных механиков и шоферов, выявлять причины задержек в работе машин и немедленно принимать меры к их устранению, делая необходимые отметки в рапортичках; наладить периодический контроль технической инспекции за работой экскаваторно-транспортно-дорожного комплекса; проводить хронометражные

[1] Принят саморазгружающийся большегрузный прицеп Д-179А.

наблюдения с целью выявления и устранения недостатков в его работе; организовать комплексные хозрасчетные экскаваторно-транспортно-дорожные бригады; работать по часовому графику.

§ 7. ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ

Зависимость между силой тяги на ободе ведущих колес, тяговой мощностью двигателя и скоростью движения автомобиля выражается формулой:

$$F_{\text{кас}} = 270 \frac{N_{\text{кас}}}{v}, \qquad (2)$$

где $N_{\text{кас}}$ — мощность двигателя на ободе ведущих колес в *л. с.*;
v — скорость движения в *км/час*;
$F_{\text{кас}}$ — сила тяги на ободе ведущих колес в *кг*.

Скорость движения автомобиля зависит от числа оборотов двигателя и выражается формулой:

$$v = \frac{0{,}377 r \delta n}{k},$$

где r — радиус ведущего колеса в *м*;
δ — коэффициент деформации шин: баллонов — 0,98, пневматиков — 0,97;
n — число оборотов двигателя в минуту;
k — полное передаточное число всей трансмиссии автомобиля, равное произведению передаточных чисел в коробке скоростей и в дифференциале.

Величина $N_{\text{кас}}$ определяется зависимостью $N_{\text{кас}} = N_e \eta$, где N_e — эффективная мощность двигателя в *л. с.*, а η — к. п. д. трансмиссии. Подставляя значение $N_{\text{кас}}$ и v в формулу (2), получим:

$$F_{\text{кас}} = \frac{716{,}2\, N_e \eta}{nr\delta} k. \qquad (3)$$

Значения N_e, η, r, n и k нужно взять из паспорта машины, после чего можно определять тяговую силу автомобиля на ободе ведущих колес $F_{\text{кас}}$.

Тяговая сила, развиваемая двигателями, может быть использована для передвижения машины лишь в том случае, когда она не превышает силы сцепления колес с грунтом. Последнее определяется сцепным весом, т. е. весом, передающимся на ведущие колеса автомобиля, и коэффициентом сцепления колес с поверхностным покровом дороги f. Если тяговая сила больше силы сцепления, то колеса будут буксовать. Проверка на буксование производится по формуле:

$$F_{\text{кас}} \leqslant f P_{\text{сц}}, \qquad (4)$$

где $P_{\text{сц}}$ — сцепной вес.

Средние значения коэффициента сцепления для грунтовой дороги и шоссе в сухом состоянии составляют 0,5, в мокром 0,3 — 0,4, для снежной дороги 0,15 — 0,21.

При равномерном установившемся движении:

$$F_{\text{кас}} = W,$$

где W — сопротивление при движении, обычно выражаемое в *кг/т*.

Сопротивление движению автомобиля складывается из величин:

$$W = W_{\text{г}} + W_{\text{п}} + W_{\text{в}} + W_{\text{разг}},$$

где $W_{\text{г}}$ и $W_{\text{п}}$ — сопротивления на горизонтальном участке и на подъеме;
$W_{\text{в}}$ — сопротивление движению со стороны воздуха, которым обычно, ввиду незначительных скоростей движения, можно пренебречь;
$W_{\text{разг}}$ — удельное сопротивление трогании с места, если автомобиль остановится на подъеме.

Сопротивление какой-либо повозки на горизонтальном пути рассчитывают по формуле:

$$W_г = PW_0 \ кг,$$

где P — вес повозки в $т$;

W_0 — удельное сопротивление в $кг$ на 1 $т$ веса повозки.

Сопротивление движению на подъеме определяется по формуле

$$W_п = P \operatorname{tg} \alpha = Pi.$$

Для того чтобы перейти от подъемов i, выраженных в тысячных долях, к сопротивлениям в $кг/т$, нужно помножить и разделить значение подъема, выраженного в тысячных долях, на 1000 $кг$, например:

$$i = 0{,}015 \frac{1000 \ кг}{1000 \ кг} = 15 \ кг/т.$$

Следовательно, при равномерном движении вес грунта q, перевозимого автомобилем весом P, можно определить по формуле:

$$F_{кас} = W_г + W_п + W_{разг} = (P + q)(W_0 + i + W_{разг}).$$

Отсюда можно определить полезный вес перевозимого груза:

$$q = \frac{F_{кас}}{W_0 + i + W_{разг}} - P. \qquad (5)$$

Если автомобиль весом (в груженом состоянии) $P + q$ тянет прицепы весом $Q_{пр}$, то можем написать уравнение:

$$F_{кас} = (P + q)(W_0 + i + W_{разг}) + Q_{пр}(W_{пр} + i + W_{разг});$$

отсюда получим:

$$Q_{пр} = \frac{F_{кас} - (P+q)(W_0 + i + W_{разг})}{W_{пр} + i + W_{разг}}, \qquad (6)$$

где W_0 и $W_{пр}$ — удельное сопротивление автомобиля и прицепа на прямом и горизонтальном участках пути.

При прицепах на пневматике $W_0 = W_{пр}$. Средние значения W_0 для автомашин на пневматике указаны в таблице 3.

Таблица 3

Значения W_0

Тип и состояние дороги	W_0 в $кг/т$
Бетонная, асфальтобетонная, гудронированная, торцовая, клинкер, брусчатка	20
Булыжная мостовая в удовлетворительном состоянии, шоссе	40
Грунтовая в удовлетворительном состоянии, булыжная в неудовлетворительном состоянии, снежная расчищенная	60
Грунтовая в неудовлетворительном состоянии, снежная нерасчищенная	160
Зимняя накатанная дорога	30
Твердый грунт	200
Рыхлый грунт, свежая насыпь, сыпучие пески	300

Удельное сопротивление при трогании с места можно определить по формуле:

$$W_{разг} = \frac{1000}{g} \frac{dv}{dt}, \qquad (7)$$

где g — ускорение силы тяжести;

$W_{разг}$ — изменяется от 20 до 30 $кг/т$.

Так как $Q_{пр} = T + Q_{гр}$, то, зная вес тары прицепов T, можно определить полезный вес перевозимых на прицепах грузов $Q_{гр}$.

§ 8. МЕРЫ ПРОТИВ БУКСОВАНИЯ АВТОМАШИН

Для обеспечения сцепления колес с полотном дороги коэффициент сцепления f должен быть равен не менее 0,35—0,50 при первой скорости движения, а для самосвалов МАЗ-525—до 0,60.

В сухое время года сцепление колес с полотном автодороги удовлетворительно, но в дождливые периоды может возникать буксование.

Меры, предупреждающие буксование, могут заключаться либо в увеличении сцепного веса, либо в повышении коэффициента сцепления f в формуле (4).

Увеличение сцепного веса может быть достигнуто: применением трехосных автомашин, седельного полуприцепа и заменой автомашин на автотягачи. Для повышения коэффициента сцепления f могут быть проведены следующие мероприятия:

1) осушение дорог и систематическая очистка от грязи;

2) посыпка в сырую и дождливую погоду участков дороги с большими подъемами песком, шлаком или иным подручным материалом; для этого можно выделить одну автомашину, что выгоднее, чем прекращать работу автопарка;

3) постановка песочниц на автомашинах, включаемых шофером на участках с большими подъемами;

4) применение в сырое время года шин повышенной шероховатости и очистка их от грязи на остановках;

5) применение цепей, надеваемых на шины автомобиля; эта мера оказывает существенную пользу на опасных участках дороги, но сопровождается ее порчей и увеличивает износ резины.

§ 9. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АВТОСАМОСВАЛОВ, ОБСЛУЖИВАЮЩИХ ЗЕМЛЕРОЙНЫЕ МАШИНЫ

Для определения производительности автосамосвалов, обслуживающих землеройные машины, пользуются следующей формулой:

$$П = (V k_{\text{нап}} k_{\text{разр}}) \left(\frac{480 k_{\text{вр}}}{T_{\text{ц}}}\right) м^3/см, \tag{8}$$

где V — объем кузова автомашины в $м^3$;

$k_{\text{нап}}$ и $k_{\text{разр}}$ — коэффициенты наполнения и разрыхления;

480 — число минут в восьмичасовой смене;

$k_{\text{вр}}$ — коэффициент использования автомашины во времени в течение смены;

$T_{\text{ц}}$ — время цикла автомашины в минутах.

В формуле (8) первый член в скобках обозначает кубатуру грунта в плотном теле, загружаемого в автомашину, а второй член в скобках — число оборотов автомобиля в смену.

Время цикла автомашины определяют по формуле (все величины в минутах):

$$T_{\text{ц}} = (t_{\text{погр}} + t_{\text{ман}}) + T_{\text{пути}} + T_{\text{разгр}} + T_{\text{зад}}, \tag{9}$$

где $t_{\text{погр}}$ — время погрузки автомашины;

$t_{\text{ман}}$ — время маневров для смены у экскаватора (грейдер-элеватора);

$T_{\text{пути}}$ — время груженого и порожнего ходов в *мин*;

$T_{\text{разгр}}$ — время разгрузки;

$T_{\text{зад}}$ — время задержек.

Если время, затрачиваемое на погрузку автомашины $t_{\text{погр}} + t_{\text{ман}}$, обозначим через $T_{\text{погр}}$, то формула (9) примет вид:

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{погр}} + T_{\text{пути}} + T_{\text{разгр}} + T_{\text{зад}}; \tag{10}$$

$$T_{\text{пути}} = \frac{L_{\text{гр}}}{v_{\text{гр}}} + \frac{L_{\text{пор}}}{v_{\text{пор}}},$$

где $L_{гр}$ и $L_{пор}$ — длина груженого и порожнего ходов в *км*;

$v_{гр}$ и $v_{пор}$ — скорости движения в *км/мин*;

$t_{погр}$ при загрузке автомашин экскаваторами определяется по формулам (80) и (81), а при загрузке грейдер-элеваторами по формуле (53).

§ 10. ТРОЛЛЕЙВОЗНЫЙ ТРАНСПОРТ [1]

Троллейвоз представляет собой грузовую машину на пневматиках, грузоподъемностью от 10 до 25 *т* с опрокидывающимся кузовом и электродвигателем смешанного возбуждения. Троллейвозный транспорт был предложен в 1949 г. Институтом горного дела Академии наук УССР; он обладает некоторыми положительными качествами, присущими электровозам и автосамосвалам. Троллейвозный транспорт был успешно применен впервые в Советском Союзе и в мире, на открытых горных работах в Богураевском рудоуправлении в 1952 г. на добыче известняков мощностью до 10 *м*, подстилаемых глинистыми сланцами. Троллейвозы-самосвалы грузоподъемностью 5 и 10 *т* по всем показателям оказались выгоднее ранее применявшихся автосамосвалов МАЗ-205 и вытеснили их. Троллейвозы изготовляются на базе механической части автосамосвалов МАЗ-205, ЯАЗ-210Е и МАЗ-525 с использованием коробок передач; в качестве двигателя используются электродвигатели смешанного возбуждения.

Высокие качества электрического двигателя позволили использовать его мощность в 86 *квт*, равную мощности дизельного двигателя автосамосвала МАЗ-205, для применения на троллейвозе с 10-тонным кузовом.

Практика работы рудника показала, что у троллейвозов грузоподъемностью в 10 *т* с двигателем такой же мощности, как у автосамосвалов МАЗ-205, производительность выше на 40—90%, себестоимость 1 *т-км* на 20—60% ниже; простой в ремонтах снизился в пять раз, расход электроэнергии на 1 *т-км* был около 0,7 *квт-ч*. С внедрением троллейвоза резко снизилось число поврежденных деталей, возрос пробег автопокрышек.

Горная масса грузилась на троллейвозы экскаватором с ковшом емкостью 2 $м^3$. Стационарные дороги имели щебеночное покрытие на подстилающем слое камня, забойные дороги—только щебеночное покрытие, радиусы поворота были около 20 *м*.

Вдоль всей трассы была подвешена двухпроводная контактная сеть с рабочим напряжением 600 *в*. От дробильно-обогатительной фабрики до забоя контактная сеть выполнена на постоянных опорах, а вдоль забоя подвешена на металлических переносных опорах с кронштейнами, которые можно поднимать, опускать и вести монтаж с земли. Высота подвески проводов 5,4 *м* на постоянной сети и 5,1 *м* на переносной. Расстояние между опорами передвижной сети 15 *м*, а на постоянной 30 *м*. Бригада из четырех электрослесарей и двух подсобных рабочих передвигала контактную сеть длиной в 300 *м* за две смены.

Техническая комиссия, обследовавшая Богураевский рудник, пришла к следующим выводам.

1. Троллейвозный транспорт обеспечивает необходимые для устойчивой работы рудника перевозки и достаточно маневренен в горных условиях. Передвижка контактной сети не нарушает нормальной работы карьера. Этот вид транспорта может конкурировать с рельсовым и автомобильным.

2. По сравнению с рельсовым транспортом троллейвозный обладает большей маневренностью, меньшими радиусами закруглений, возможностью преодоления значительно бо́льших подъемов и уклонов, отсутствием рельсо-

[1] А. С. Фиделев, С. М. Могилевский. Троллейвозный транспорт на открытых работах. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 1, 1953; К. В. Проценко, С. М. Могилевский. Эксплуатация троллейвозов на карьере Богураевского рудника. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 1, 1954; А. С. Фиделев, Г. Я. Сапожников. Троллейвоз грузоподъемностью 25 т. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 7, 1954.

3. По сравнению с автосамосвалами троллейвозный транспорт также обладает рядом достоинств; к ним относятся: лучшие тяговые качества и более устойчивая работа в горных условиях, простота силового оборудования и в связи с этим простота ремонта и обслуживания, отсутствие расхода дорогостоящего горючего. Условия труда водителя троллейвоза более гигиеничны, чем у шофера самосвала. Повышается культура разработки карьера в целом, электрифицируются многие звенья технологического процесса (бурение, экскавация, транспортировка и дробление).

4. Троллейвозный транспорт особенно эффективен при расстояниях откатки в 2—3 *км* и более, а также при крутых подъемах и уклонах.

5. Дальнейшее развитие троллейвозного транспорта зависит от организации серийного изготовления троллейвозов.

Ввиду ряда серьезных преимуществ троллейвозного транспорта перед рельсовым и автосамосвалами желательно, чтобы этот новый и весьма перспективный вид транспорта был испытан и применен на гидротехнических и гидромелиоративных стройках.

§ 11. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Ширина колеи железных дорог СССР равна 1524 *мм*. На стройках применяют как ширококолейные железнодорожные пути, так и узкоколейные с шириной колеи 750 *мм*. Ширококолейный железнодорожный транспорт на земляных работах является наиболее старым видом транспорта; особенно он был распространен 20—30 лет назад; он применяется и в настоящее время на очень крупных работах при отвозке земли от экскаваторов на большие расстояния (например, на постройке Мингечаурской ГЭС).

Рельсовый транспорт применяется при дальности возки 2—3 *км* и более—для широкой колеи и 0,5—1,0 *км*—для узкой.

Ширококолейному железнодорожному транспорту свойственны многие положительные качества. К ним относятся, например, следующие.

1. Высокая производительность.

2. Значительно меньшие по сравнению, например, с автомобильным транспортом удельные потери времени на подачу составов под экскаватор (удельными потерями называются потери времени на смену составов, отнесенные к 1 $м^3$ грунта, нагруженному на транспортный прибор). Следствием этого является обычно более высокий, чем при автотранспорте, коэффициент использования экскаватора, с чем связано соответствующее снижение стоимости разрабатываемого грунта. Однако при хорошей организации автотранспортных работ $K_{вр}$ экскаваторов может быть доведен при отвозке автомашинами до 0,90 и более, т. е. до значений более высоких, чем при железнодорожном транспорте.

3. Возможность применять экскаваторы с ковшами большей емкости и более высокой производительности, что снижает стоимость разработки грунта. Для удобства погрузки и повышения $K_{вр}$ экскаватора транспортные приборы должны быть выбраны так, чтобы в них помещалось не менее 4—7 ковшей.

4. Подвижной ширококолейный состав и его эксплуатация обходятся значительно дешевле, чем для автосамосвалов с такой же грузоподъемностью.

5. Поддержание в исправном состоянии и уход за одним железнодорожным составом значительно проще, чем за большим количеством грузовых машин, при одинаковой их производительности.

6. Минимальная величина удельного сопротивления движению составляет 2—2,5 *кг/т* для широкой колеи и до 5,5 *кг/т*—для узкой колеи против 60—80 *кг/т*—для грунтовой дороги, находящейся в удовлетворительном состоянии.

7. Меньшая удельная мощность двигателя (1÷1,1 *л.с./т* для железнодорожного транспорта и 7,3÷10,2 *л.с./т*—для автотранспорта).

Однако железнодорожный ширококолейный транспорт имеет ряд крупных недостатков, ограничивающих его применение на гидротехнических стройках.

1. Небольшие руководящие подъемы пути (0,015—0,030) и значительные радиусы закруглений (не менее 200—250 *м*) затрудняют выбор трассы в весьма стесненных условиях строительной площадки и ведут к увеличению кубатуры выездов из выемок и котлованов и въездов на земляные плотины. Нередко размеры строительной площадки, расположение зданий и конфигурация местности вовсе не позволяют протрассировать ширококолейный путь.

2. Затраты по постройке железнодорожных путей широкой колеи весьма значительны; они в несколько раз больше, чем при узкоколейном железнодорожном транспорте и автотранспорте.

Основная часть первоначальных затрат приходится на земляные работы, верхнее строение и балластировку.

3. Постройка ширококолейных железнодорожных путей и их перекладка на новое место занимают больше времени, чем устройство землевозных дорог, что имеет немаловажное значение. Ширококолейный железнодорожный транспорт в этом отношении менее гибок, чем другие виды транспорта.

4. Применение железнодорожного транспорта широкой колеи при разработке котлованов связано с крупными маневрами подвижного состава, что резко снижает $K_{вр}$ экскаваторов.

§ 12. ТЯГОВЫЕ ПРИБОРЫ. ПЛАТФОРМЫ

На землевозных путях широкой колеи применяются паровозы с тендером, танк-паровозы и мотовозы. Паровозы применяются типа $О^{в}$, $О^{д}$, Щ, $О^{ч}$, Э, $Э^{у}$, Р, $Ч^{п}$, а также танк-паровозы 9П. Они имеют расчетную силу тяги по сцеплению от 8300 до 17 200 *кг*. Основным преимуществом танк-паровозов, у которых баки для воды и топлива размещены на самом паровозе, является вписывание в кривые малых радиусов (~ 40 *м*). На узкоколейных железных дорогах применяются паровозы серии Н-86, Н-157, Н-159, имеющие расчетную силу тяги от 2250 до 5500 *кг*; кроме того, применяются узкоколейные танк-паровозы с силой тяги по сцеплению в 2620 *кг*.

Мотовозы с двигателями внутреннего сгорания имеют ряд преимуществ по сравнению с паровозами; однако вследствие значительно меньшей по сравнению с паровозами силы тяги мотовозов они могут применяться лишь в особых случаях для малогрузных поездов, для маневровой службы, а также, когда по условиям пожарной безопасности на строительной площадке паровозами пользоваться запрещено.

Промышленность изготовляет мощные дизельные мотовозы широкой колеи, весом 27 *т*, с двигателями 140 *л. с.* и силой тяги на крюке 5700 *кг*.

Узкоколейные мотовозы (МД-54, МУЗ-4, МУГ-2 и др.) имеют силу тяги на крюке от 1260 до 5300 *кг* (на первой скорости). Так как сила тяги узкоколейных паровозов значительно меньше, чем ширококолейных, то и вес перевозимого составом грунта значительно меньше; с другой стороны, между тяговыми силами узкоколейных паровозов и мотовозов нет такой резкой разницы, как между ширококолейными. Поэтому на сравнительно небольших землевозных работах при узкоколейном транспорте применяются как мотовозы, так и паровозы. Ряд достоинств мотовозов, свойственных двигателям внутреннего сгорания, по сравнению с паровозами, общеизвестен—это постоянная готовность к работе, редкие наборы воды и топлива, небольшой расход воды, быстрый запуск, значительно меньший вес и возможность применения более легких рельсов, меньшее количество обслуживающего персонала, пожарная безопасность.

Кроме того, значительно меньшая стоимость мотовозов (в 3—5 раз) и примерно в три раза меньшая стоимость мотовозо-смены позволяют в некоторых случаях заменять паровозы мотовозным узкоколейным транспортом. Применение мотовозов особенно выгодно при ирригационных работах

в безводных степях, при работе в пожароопасных условиях на строительных площадках, в пустынных, отдаленных от железных дорог районах, не имеющих воды и местного топлива.

В качестве транспортных приборов для перемещения земляных масс по железной дороге широкой колеи применяются самоопрокидывающиеся платформы (думпкары) грузоподъемностью 50 и 60 *т*. Намечается изготовление думпкаров грузоподъемностью 100 *т* с боковым опрокидыванием платформы при помощи сжатого воздуха.

При опрокидывании кузова борт его автоматически открывается, грунт сползает и высыпается под откос.

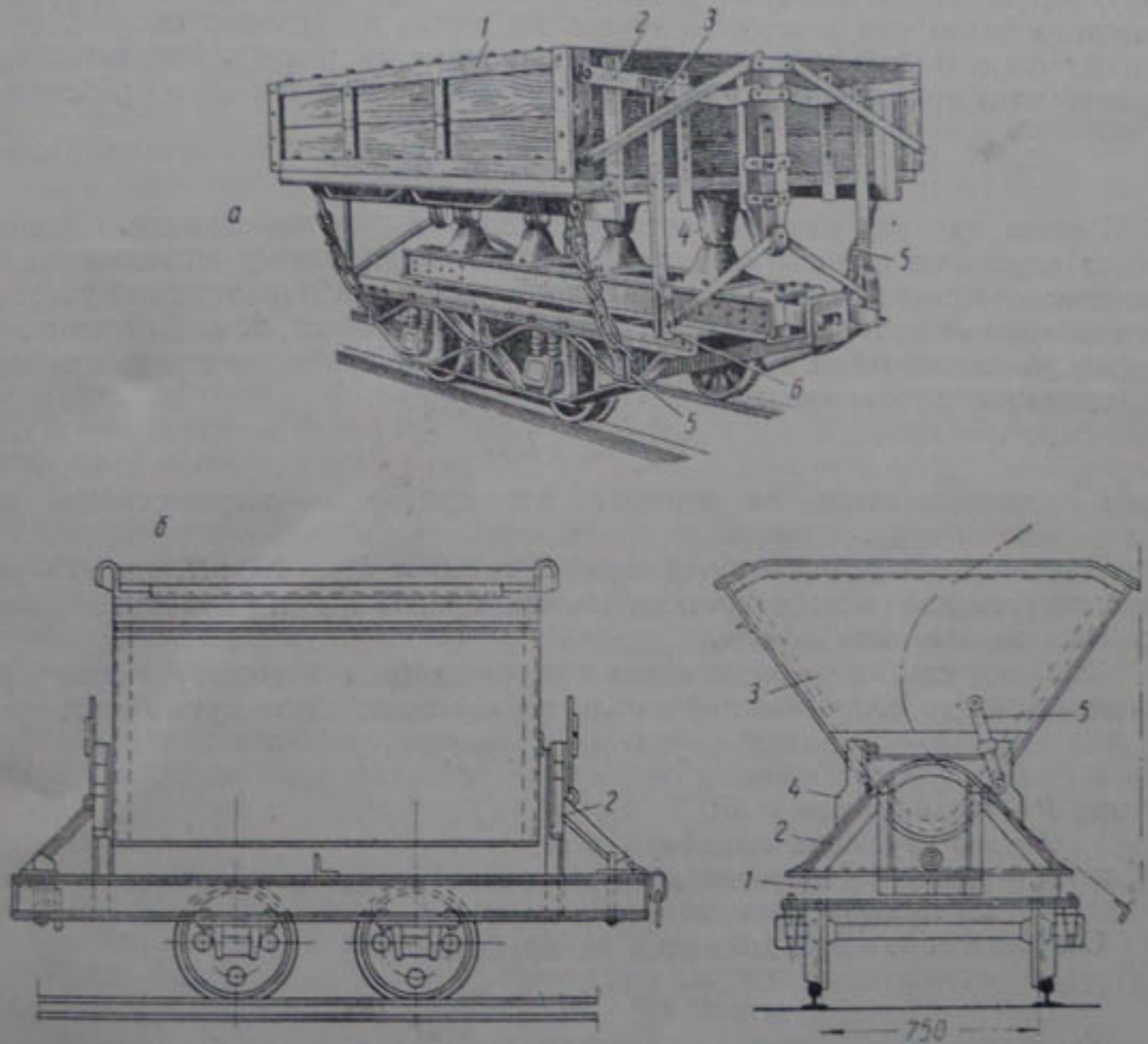


Рис. 4. Вагонетки узкой колеи:

а—вагонетка Т-54 емкостью 3 *м*³: *1*—подъемные борта; *2* и *3*—планки; *4*—шарниры; *5*—цепи; *6*—жесткие тяги. *б*—вагонетка Т-14 емкостью 0,75 *м*³: *1*—ходовая рама; *2*—опорные стальные дуги; *3*—съемный кузов; *4*—уголки, приклепанные к стенке кузова; *5*—запоры.

К недостаткам выпускаемых платформ относятся: 1) большая высота их (2,86 *м*); 2) большой вес и значительное давление на ось—до 26 *т*, при котором требуются пути очень хорошего качества, что трудновыполнимо для землевозных, часто перемещаемых дорог; 3) затруднительность подъема сошедших с рельсов платформ вследствие большого их веса; 4) необходимость применения также ручной силы для полной разгрузки.

На узкоколейных землевозных путях с механической тягой применяются вагонетки с опрокидывающимся кузовом емкостью от 2,5 до 6,0 *м*³ (Т-14, Т-89, Т-123, Т-54 и др.) (рис. 4, *а*). Подъемные борта *1* вагонетки Т-54 шарнирно прикреплены к кузову планками *2* и *3*; днище опирается на несколько шарниров *4*, укрепленных на раме тележки. Кузов удерживается в горизонтальном

положении цепями 5. При разгрузке цепь отстегивается от кузова со стороны, противоположной разгрузке, и рабочие опрокидывают кузов.

Заводы СССР выпускают также узкоколейные платформы-самосвалы емкостью 9—15 $м^3$, с пневматическим опрокидыванием.

Вагонетки Т-14 с опрокидывающимся кузовом емкостью 0,75 $м^3$ (рис. 4, 6) имеют железный съемный кузов 3, резко суживающийся внизу. На торцах кузова прикреплены железные уголки 4, опирающиеся на полукруглые опоры 2, поставленные на ходовой раме 1 у концов кузова.

При раскачивании кузов опрокидывается, причем упорные уголки катятся по опорной дуге 2. Для предупреждения опрокидывания в пути кузов удерживается запорами 5. Рама 1 опирается на два колесных ската. Для того чтобы при разгрузке кузова вагонетка не опрокидывалась, применяют специальные крюки-скобы, зацепляемые за рельсу. Эти вагонетки применяются при ручной погрузке; загрузка производится двумя рабочими.

§ 13. ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ

Задача тяговых расчетов состоит в определении веса поезда, который может перевезти тяговая машина по пути, обладающему определенными техническими свойствами. Для расчета выбирается наиболее трудный участок с наибольшими приведенными подъемами. Приведенный, т. е. фактический, подъем, увеличенный на добавочное сопротивление при движении на кривых, определяется по формуле:

$$i_{пр} = i_ф + i_{кр}, \tag{11}$$

где $i_{кр}$ — сопротивление на кривой, приведенное к сопротивлению на подъеме $i_ф$.

Для ширококолейных путей при $R > 300$ $м$ $i_{кр} = 700 : R$, где R — радиус закругления в $м$; сопротивление на кривой $i_{кр}$ выражается в килограммах на 1 $т$ веса поезда.

Так как удельные сопротивления паровоза (или мотовоза) и платформ неодинаковы, то сопротивление поезда на горизонтальном пути будет:

$$W_г = PW'_0 + QW''_0, \tag{12}$$

где P — вес паровоза в $т$;

Q — вес груженых платформ в $т$;

W'_0 и W''_0 — удельные сопротивления движению поезда и платформ на горизонтальном прямом пути в $кг/т$.

Сопротивление при движении на подъеме:

$$W_п = P \operatorname{tg} \alpha = Pi.$$

Если подъем совпадает с кривой, то вместо i нужно брать приведенный подъем $i_{пр}$.

Приравнивая силу тяги на ободе колеса $F_{кас}$ сопротивлениям W, получим:

$$F_{кас} = P(W'_0 + i_{пр}) + Q(W''_0 + i_{пр}). \tag{13}$$

Из уравнения (13) можно определить вес поезда Q, который может везти паровоз, развивающий на ободе колеса касательную силу тяги $F_{кас}$:

$$Q = \frac{F_{кас} - P(W'_0 + i_{пр})}{W''_0 + i_{пр}}. \tag{14}$$

С понятием $F_{кас}$ не следует смешивать силу тяги на крюке паровоза $F_{кр}$, измеряемую динамометром на горизонтальном участке пути:

$$F_{кр} = F_{кас} - PW'_0. \tag{15}$$

Если сила тяги дана на крюке, то

$$Q = \frac{F_{кр} - Pi_{пр}}{W''_0 + i_{пр}}. \tag{15а}$$

В зависимости от того, какая сила тяги известна, касательная или на крюке, для тяговых расчетов применяют одну из формул (15) или (15а).

Для землевозных путей удельное сопротивление паровоза на прямом горизонтальном пути W_0' определяется по формуле:

$$W_0' = 1{,}5\,(1{,}5 + 0{,}05v)\ кг/т, \tag{16}$$

где v — скорость движения в *км/час*;

1,5 — коэффициент, учитывающий дополнительное сопротивление на землевозных путях при хорошем их состоянии.

Удельное сопротивление вагонов при движении по горизонтальному прямому пути W_0'' определяется по формуле:

для двухосных платформ нормальной колеи

$$W_0'' = 1{,}5\left[1{,}4 + \left(0{,}02 + \frac{0{,}5}{q}\right)v\right]\ кг/т, \tag{17}$$

где q — вес груженого вагона в $т$;

для четырехосных платформ

$$W_0'' = 1{,}5\left(\frac{v+65}{12+0{,}55q}\right)\ кг/т. \tag{17а}$$

Приведенными формулами можно пользоваться при приближенных расчетах, так как они выведены для установившегося движения.

При трогании с места возникает дополнительное сопротивление $W_{тр}$; оно исчисляется по формуле: $W_{тр} = 2 + 0{,}3i_{пр}\ кг/т$ и принимается равным не менее 4 *кг/т*.

Определением веса поезда при заданном подъеме не исчерпываются тяговые расчеты. Необходимо проверить еще, может ли в условиях имеющегося сцепления между ведущими колесами и рельсами быть реализована сила тяги, развиваемая двигателем. Для того чтобы вращение ведущих колес, производимое двигателем, преобразовывалось в движение поезда, колеса должны получить достаточный упор в точке их соприкосновения с рельсами. При этом трение между рельсами и колесами будет той внешней силой, под влиянием которой будет происходить движение поезда. Следовательно, для наличия поступательного движения необходимо, чтобы

$$F_{кас} \leqslant fP_{сц},$$

где f — коэффициент сцепления колес с рельсом;

$P_{сц}$ — сцепной вес, т. е. та часть веса паровоза, которая передается на ведущие колеса; выражение $fP_{сц}$ называется **сцепной силой тяги**.

Если $F_{кас} > fP_{сц}$, то за отсутствием достаточного упора о рельсы колеса будут вращаться на месте, т. е. буксовать.

Численное значение коэффициента f можно принимать равным 0,17 — 0,18 для двухцилиндровых паровозов и 0,19—для четырехцилиндровых.

Число платформ в поезде определяется по формуле:

$$n = \frac{Q}{T + q_1},$$

где T — вес тары (порожней платформы) в $т$;

q_1 — вес нагружаемого на платформу грунта в $т$.

Для определения веса тары необходимо знать число тормозных и неторможных платформ в составе поезда; оно определяется в зависимости от наибольшего спуска в грузовом направлении:

Уклон в пути в тысячных долях	5	10	15	20	25	30
Количество тормозных единиц в составе в %	8	12	17	20	30	35

Для определения состава поезда узкой колеи применяют формулы (14) или (15а), в зависимости от того, дается ли сила тяги на ободе колес или на крюке.

Для определения сопротивления на кривых для узкоколейных паровозов пользуются формулой:

$$i_{кр} = \frac{425}{R}\ кг/т,$$

где $i_{кр}$ — сопротивление на кривой в $кг/т$, а R — радиус закругления в $м$.

Удельное сопротивление при движении локомотивов узкой колеи по горизонтальному пути определяется по формуле:

$$W_0 = 1{,}5\,(4{,}85 + 0{,}001v^2)\ кг/т, \qquad (18)$$

где v — скорость движения в $км/час$;

1,5 — коэффициент для временных путей, поддерживаемых в хорошем состоянии.

Для вагонов узкой колеи удельное сопротивление на горизонтальном пути берется в пределах 5—10 $кг/т$ в зависимости от состояния путей.

§ 14. ТРАКТОРНЫЕ САМОРАЗГРУЖАЮЩИЕСЯ ПРИЦЕПЫ

В нашей стране рациональное в технико-экономическом отношении применение тракторного транспорта для перемещения грунтов стало возможным только после серийного выпуска в 1949 г. большегрузных саморазгружающихся прицепов Д-179А на баллонах грузоподъемностью (включая вес прицепа) до 24 $т$, работающих на прицепе к трактору С-80. Прицеп двухосный, задняя ось опирается на колеса со сдвоенными баллонами, передняя—на одинарные баллоны; она служит одновременно и для присоединения прицепа к буксирной скобе трактора.

Разгрузка производится раскрытием двустворного днища кузова. Управление створками днища осуществляется ручной лебедкой, укрепленной на кронштейне, приваренном к раме прицепа; лебедка управляется трактористом.

Кузов объемом 9 $м^3$ (а с шапкой 10—12 $м^3$) имеет форму усеченной пирамиды с наклоном стенок к горизонту в 60°; длина его 3,24 $м$, ширина 2,8, колея задних колес 2,33, передних 1,64; колесная база 4,8, радиус поворота 4,8 $м$, вес 6,1 $т$. Стоимость машино-смены 71 руб., тогда как стоимость машино-смены ЯАЗ-210Е грузоподъемностью 10 $т$ составляет 292 руб., а МАЗ-525 грузоподъемностью 25 $т$—550 руб.

Габаритные размеры прицепа: длина 7,83 $м$, ширина 3,1, высота 2,24 $м$.

На Волгодонстрое саморазгружающиеся прицепы Д-179А с трактором С-80 с успехом использовались для отвозки грунтов на расстояние 500—800 $м$ от механической лопаты СЭ-3 с ковшом в 3 $м^3$.

При небольшой дальности возки (до 500 $м$) этот вид транспорта оказался весьма эффективным, так как трактор С-80 легко тянул два прицепа, и экскаватор обслуживался четырьмя тракторами с восемью прицепами. В этих же условиях для обеспечения бесперебойной работы экскаватора необходимо было бы иметь не менее восьми автосамосвалов МАЗ-205 или трех автосамосвалов МАЗ-525.

Наша промышленность выпускает большегрузные саморазгружающиеся тракторные прицепы Д-258 емкостью 12—15 $м^3$, грузоподъемностью 23 $т$, весом 11,4 $т$. Прицепы с двусторонней боковой разгрузкой (на любую сторону) работают в сцепе с трактором С-80 (рис. 5). Этот прицеп может быть применен при работах крупного масштаба и больших объемах перевозок грунта, разрабатываемого экскаваторами и грейдер-элеваторами.

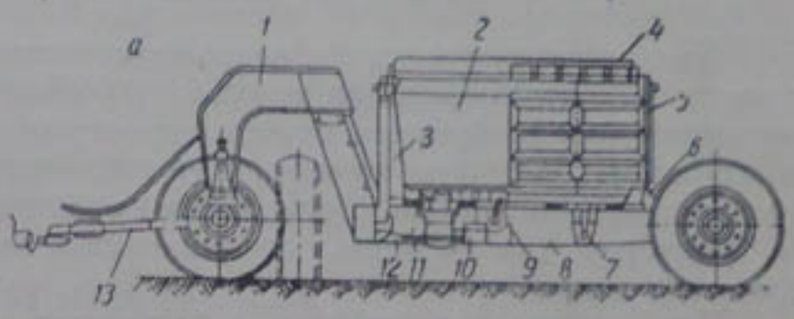
Прицеп Д-258 состоит из двухосной ходовой рамы с полноповоротной передней осью, кузова, тягового дышла 13 (рис. 5, *а*) и гидросистемы, состоящей из гидропривода, подъемников и трубопроводов.

Кузов квадратной формы в плане свободно лежит на восьми резиновых амортизаторах *12*, закрепленных на продольных балках рамы. В продольном направлении положение кузова относительно рамы определяется перед-

ними и задними упорами *6*, а в поперечном—опорными шарнирами, расположенными на кронштейнах *7*.

Под кузовом на раме закреплены два гидравлических подъемника *9* (рис. 5, *б*), служащие для опрокидывания кузова при разгрузке, цепи *10*, ограничивающие угол его наклона до 52°, и возвратные пружины *9* (рис. 5, *а*), облегчающие опускание кузова после разгрузки.

Боковых стенок корпус кузова не имеет, эту роль выполняют подъемные борта *6* (створки) (рис. 5, *б*). Последние снабжены тягами *7*, закрепленными шарнирно на передней и задней стенках корпуса кузова. Рычаги включения гидропривода расположены в кабине трактора. На Сталинградгидрострое были произведены сравнительные испытания прицепа Д-258, автосамосвалов МАЗ-205 и ЯАЗ-210Е, загружавшихся механической лопатой СЭ-3; дальность возки 0,5 *км*.



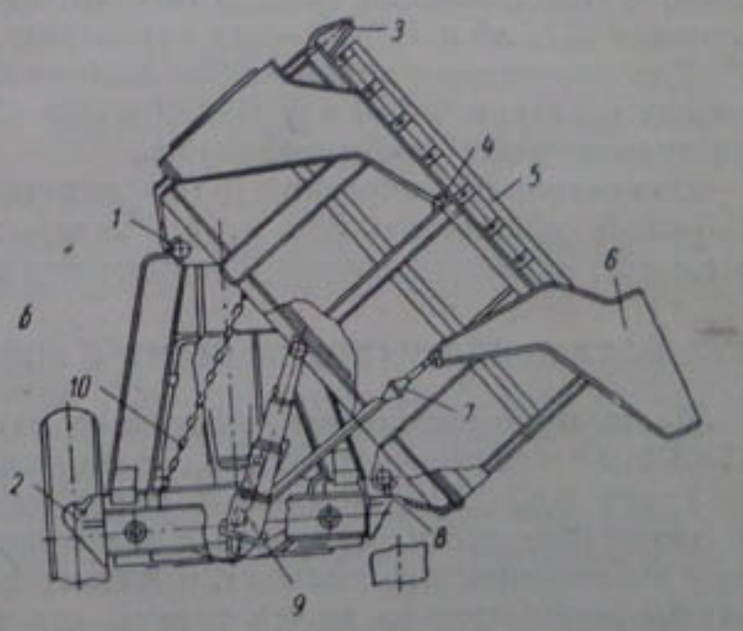


Рис. 5. Саморазгружающийся прицеп Д-258 емкостью 12—15 $м^3$:
а—общий вид: *1*—передняя опора; *2*—кузов; *3*—тяга створки (подъемного борта); *4*—бортовые козырьки; *5*—створки—подъемные борта кузова; *6*—задние упоры; *7*—опорные кронштейны; *8*—рама; *9*—возвратные пружины; *10*—ограничительные цепи; *11*—подъемники; *12*—амортизаторы; *13*—тяговое дышло. *б*—вид сзади при опрокинутом кузове: *1*—опорные валики кузова; *2*—опорные кронштейны; *3* и *5*—бортовые козырьки; *4*—фиксирующий штырь створки; *6*—подъемные борта (створки) кузова; *7*—тяга створки; *8*—фиксатор опор кузова; *9*—подъемники; *10*—ограничительные цепи.

Технико-экономические показатели прицепа Д-258 (производительность, стоимость, расход дизельного топлива, коэффициент использования объема кузова) при испытаниях оказались значительно лучшими, чем у автосамосвалов МАЗ-205 и ЯАЗ-210Е. Стоимость перевозки прицепами 1 $м^3$ на 1 *км* составляла 1 руб. 65 коп., что в три раза меньше, чем при перевозках автосамосвалами. Это можно объяснить небольшой дальностью возки и в 2—4 раза бóльшим объемом грунта, нагружаемого в прицеп.

Для повышения коэффициента использования тоннажа емкость кузова была увеличена до 14 $м^3$, что позволило грузить в прицеп Д-258 пять ковшей экскаватора СЭ-3.

Так как технологическая комплектность (число загружаемых ковшей) составляла для указанных видов транспорта соответственно 1, 2 и 4, то и производительность экскаватора СЭ-3 при применении прицепов Д-258 была значительно выше.

Испытания показали, что транспортирование прицепа, загруженного четырьмя ковшами экскаватора СЭ-3, может производиться на горизонтальных участках сухой дороги на III и IV скоростях трактора, а при подъемах i=0,100 на I и II скоростях.

Весьма важное преимущество прицепа Д-258 перед автосамосвалами состоит в возможности продвижения по дорогам низкого качества и в сырую погоду.

Следует также отметить большегрузный прицеп Д-401А к трактору С-80, грузоподъемностью 25 *т*, созданный Харьковским заводом дорожных машин; его назначение—перевозка сыпучих и скальных пород; разгрузка прицепа самосвальная, задняя; управление гидравлическое из кабины трактора, длина прицепа 9,15 *м*, ширина 2,95, высота 3,0 *м*; вес 10,8 *т*.

Практика наших строек показывает, что при разработке связных грунтов работа автомашин в весеннюю и осеннюю распутицу почти прекращается. При применении для отвозки грунта в таких условиях прицепов Д-258 указанные простои могут быть резко сокращены.

§ 15. ТРАКТОРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ НА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТАХ

На гидротехнических и гидромелиоративных работах тракторы используются как для перевозки грунтов в большегрузных прицепах, так и для передвижения прицепных машин (скреперов, грейдеров, грейдер-элеваторов, землеройных стругов, канавокопателей, рыхлителей, кусторезов). Широко распространено также применение различного навесного оборудования к тракторам (бульдозеры, корчеватели-собиратели, канавокопатели-пародержатели и др.).

При землевозных работах, а также при работе тракторов с различными прицепными машинами требуются большие тяговые усилия. Поэтому в таких случаях применяются тракторы С-100Б и С-80 и лишь для мелких моделей—тракторы меньшей мощности (например, ДТ-54—для скреперов Д-374 с ковшом 2,75 $м^3$ и КД-35—для скреперов Д-217 с ковшом 1,5 $м^3$).

Для скреперов с ковшами большой емкости (10—15 $м^3$) требуются более мощные тракторы Т-140 и ДЭТ-250 в 140—250 *л. с.*, к выпуску которых уже приступила наша промышленность.

Полунавесной скрепер Д-189 используется в сцепе с автотягачами МАЗ-525Д мощностью 300 *л. с.*, которые могут развивать скорость до 45 *км/час*, в несколько раз превышающую скорость движения тракторов.

§ 16. ТРАНСПОРТ АВТОТЯГАЧАМИ С БОЛЬШЕГРУЗНЫМИ ПРИЦЕПАМИ

Наша промышленность выпускает автомобильные тягачи ЯАЗ-210Г и ЯАЗ-210Д с двигателем 200 *л. с.*; наибольшая скорость движения 45 *км/час*.

Тягач ЯАЗ-210Д седельного типа; он представляет собой автомобиль с укороченным шасси, без кузова, с полуприцепом, соединенным с ним посредством опорно-сцепного прибора, носящего название седла. Часть веса полуприцепа передается на шасси тягача, что увеличивает его сцепной вес.

Автотягачи служат для транспортирования прицепов-тяжеловозов грузоподъемностью в 20 и 40 *т*, предназначенных для перевозки строительных и дорожных машин и оборудования.

Однако столь ограниченное применение седельных тягачей ЯАЗ-210Д может быть значительно расширено при использовании их для перевозки грунтов в большегрузных саморазгружающихся прицепах Д-179А и, особенно, в прицепах Д-258; это требует небольшого переустройства тяговой части указанных прицепов, используемых у нас в сочетании с тракторами С-80.

Скорость движения тягача ЯАЗ-210Д в 4—5 раз выше скорости 140-сильных тракторов и тракторов С-80; поэтому производительность автопоезда с тягачами будет в несколько раз выше производительности поезда из большегрузных прицепов, работающих на прицепе трактора.

В США для отвозки грунтов, разрабатываемых экскаваторами, выпускаются одноосные полуприцепы грузоподъемностью от 8 до 45 *т* с одноосными же тягачами мощностью до 45 *л. с*[1]. Низкий, особой формы кузов полуприцепа не имеет задней стенки и потому свободно разгружается опрокидыва-

---

[1] В. И. Годзевич, Я. В. Гуго. Из опыта зарубежной техники. Машины для транспорта грунта. «Гидротехническое строительство» № 3, 1955.

нием назад. Кузов полуприцепа принимает при разгрузке почти вертикальное положение, благодаря чему липкие и переувлажненные грунты свободно выгружаются. Полуприцеп опирается своей передней частью на одноосный тягач на пневматике. Сила тяги по сцеплению создается полным весом тягача и частью веса полуприцепа.

Радиус поворота при угле поворота в 90° очень мал—3,8 *м*, что обеспечивает хорошую маневренность машины.

Полуприцепы могут передвигаться по узким и крутым дорогам с подъемами до 0,300 и обладают хорошей проходимостью вследствие большого диаметра колес и применения шин низкого давления размером 21—25 дюймов.

Одноосные тягачи, применяемые для описываемых полуприцепов, получили в США широкое распространение благодаря их быстроходности, хорошей проходимости, высокой маневренности и значительной силе тяги по сцеплению. Эти качества агрегатов обеспечивают более низкую стоимость транспортировки грунтов автосамосвалами грузоподъемностью до 25 *т* и тихоходными тракторами с большегрузными прицепами.

§ 17. ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ

Сила тяги на крюке $F_{кр}$—есть тяговое усилие в килограммах на горизонтальном участке пути, передающееся на крюк трактора, за вычетом сопротивлений при движении самого трактора. Эта сила определяется по формуле:

$$F_{кр} = F_{кас} - P_x W_{тр}, \qquad (19)$$

где $F_{кас}$ — сила тяги на гусеницах трактора в *кг*;

P_x — вес трактора в *т*;

$W_{тр}$ — удельное сопротивление в *кг/т*.

В зависимости от качества и состояния дороги $W_{тр}$ изменяется от 100—130 *кг/т*—при движении по грунтовым дорогам до 250—300 *кг/т*—при движении по свеженасыпанному грунту, песку.

При таких колебаниях величин $W_{тр}$ значение второго члена в формуле (19) изменяется для трактора С-80 в пределах от 1140 до 3420 *кг*, или на 2280 *кг*; это составляет по отношению к каталожному значению $F_{кр}$ 26% от тягового усилия на I передаче, 44% на II и 66% на III.

Ввиду столь значительных изменений $F_{кр}$ от состояния дороги тяговые расчеты следует вести по значениям $F_{кас}$, определяемым согласно характеристике трактора по формуле (3).

Вес прицепа с перевозимым на нем грунтом следует определять по формуле:

$$Q = \frac{F_{кас} - P(i + W_{тр} + W_{разг})}{i + W_{пр} + W_{разг}} m, \qquad (20)$$

где P — собственный вес трактора в *т*;

Q — вес прицепа с грузом в *т*;

i — подъем в *кг/т*;

$W_{тр}$, $W_{пр}$ - удельные сопротивления движению трактора и прицепа по горизонтальному пути в *кг/т*;

$W_{разг}$ — удельное сопротивление при трогании с места в *кг/т*, определяемое по формуле (7).

Для определения веса грунта надо из величины, полученной по формуле (20), вычесть вес прицепа в тоннах.

Для проверки на буксование пользуются формулой (4).

Сцепной вес трактора на гусеничном ходу равен его собственному весу. Коэффициент сцепления f гусениц с дорогой изменяется от 0,20 до 0,40—при движении по шоссе и булыжной мостовой и от 0,9 до 1,0—при движении по грунтовой дороге.

§ 18. ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ УСТРОЙСТВА ХОРОШИХ ДОРОГ ДЛЯ ТРАКТОРОВ

Широко распространено ошибочное мнение о том, что не нужно устраивать хорошие дороги для тракторов, так как они могут передвигаться и по бездорожью. Хотя трактор и обладает лучшей проходимостью по плохим дорогам, чем автомашина, но сопротивление движению по ним значительно выше, чем по хорошим дорогам. В силу этого трактор может тянуть по плохим дорогам прицепы значительно меньшего веса, чем по хорошим. Это подтверждают следующие расчеты.

При значении $(i+W_0)$ до 160 *кг/т* трактор С-80 может передвигать два большегрузных прицепа Д-179А, а при бóльших значениях $(i+W_0)$, не превосходящих, однако, величины 260 *кг/т*,—только один прицеп; при $(i+W_0)$ больше 260 *кг/т* трактор С-80 не может передвигать даже одного груженого прицепа Д-179А.

При $(i+W_0)$ до 180 *кг/т* трактор мощностью 140 *л. с.* может передвигать два большегрузных прицепа Д-258, а при $(i+W_0)$, превышающих эту величину, но не превосходящих 300 *кг/т*,—только один прицеп.

Приведенные цифры показывают, что при дорогах лучшего качества и с менее крутыми подъемами в грузовом направлении производительность тракторов может быть повышена почти вдвое, чем при дорогах, находящихся в плохом состоянии, с крутыми подъемами; стоимость транспортировки грунта по хорошим дорогам снижается на 36%.

Предельное значение $(i+W_0)$, при котором эти тракторы могут везти два прицепа, как указано выше, составляет 160—180 *кг/т* для грунтовых дорог хорошего качества; следовательно, целесообразное значение руководящих подъемов дорог при тракторном транспорте $i_{\text{рук}}=60 \div 80$ *кг/т*, или $0{,}06 \div 0{,}08$.

§ 19. ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ЛЕНТОЧНЫХ ТРАНСПОРТЕРОВ

Ленточные транспортеры являются транспортом непрерывного действия. Их крупное достоинство состоит в высокой производительности, определяемой, однако, не только производительностью самой ленты, но и условиями погрузки.

Ленточные транспортеры допускают большие руководящие подъемы ($i_{\text{рук}}=0{,}200 \div 0{,}300$), значительно более крутые, чем при других видах транспорта, а также повороты под любыми углами без закруглений. Это делает возможным и целесообразным применение транспортеров в пересеченной местности, в условиях стесненной строительной площадки, а также при разработке глубоких выемок и котлованов.

Ленточные транспортеры оказывают небольшое давление на поддерживающие конструкции; поэтому при переходе через овраги, ручьи и другие препятствия нужны легкие, дешевые эстакады. Благодаря этому, а также бóльшим значениям $i_{\text{рук}}$ стоимость подготовительных работ по установке ленточных транспортеров значительно ниже, чем при других видах транспорта, что делает применение транспортеров экономически выгодным даже при небольших объемах выемок.

Достоинства ленточных транспортеров состоят также в том, что они могут применяться как при больших, так и небольших расстояниях перемещения, имеют высокое значение коэффициента $K_{\text{вр}}$ (при надлежащем эксплуатационном уходе), обслуживаются небольшим, но квалифицированным эксплуатационным штатом, расходуют значительно меньше энергии, чем другие виды транспорта.

Удельное сопротивление движению ленты составляет 30—40 *кг/т*, т. е. значительно меньше, чем для автотранспорта в условиях строительства (60—250 *кг/т*), а тем более—для тракторов и гусеничных тягачей. Коэффициент тары, т. е. отношение веса движущихся частей агрегата к весу переме-

щаемого полезного груза, не превышает в ленточных транспортерах 0,3—0,5, в то время как для автотранспорта он составляет 0,9—1,5, а для железнодорожного транспорта 0,9—2,0.

Ленточные транспортеры получили широкое применение на крупных камнедробильных и бетонных заводах, погрузочно-разгрузочных работах на стройплощадках, а также на транспортировке и укладке бетонной смеси (канал имени Москвы, Волгодонстрой, Верхнесвирская ГЭС, Мингечаургэсстрой).

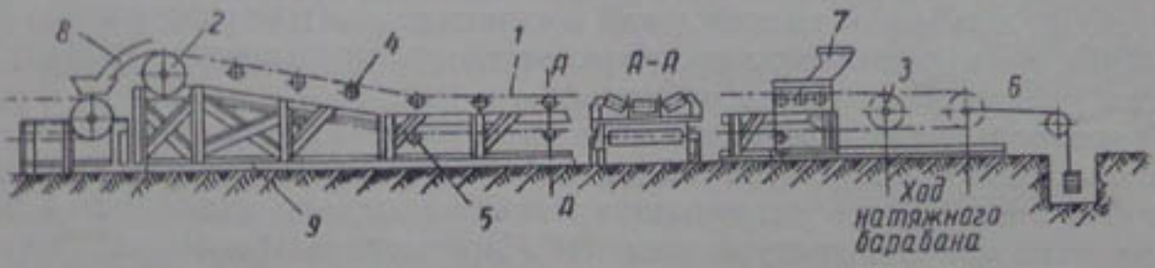


Рис. 6. Схема устройства ленточного транспортера:
1—лента; *2*—приводной барабан; *3*—натяжной барабан; *4*—рабочие ролики; *5*—ходовые ролики; *6*—натяжное устройство; *7*—передвижной бункер; *8*—сбросной лоток; *9*—станина.

Следует отметить, что на земляных работах в гидротехническом и гидромелиоративном строительстве ленточные транспортеры используются пока еще слабо.

К недостаткам ленточных транспортеров надо отнести хрупкость лент в морозное время, их дороговизну и дефицитность. При обслуживании экскаваторов ленточными транспортерами требуется применение бункеров, что несколько усложняет работу и увеличивает высоту погрузки.

§ 20. СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ЛЕНТОЧНЫХ ТРАНСПОРТЕРОВ

Ленточный транспортер (рис. 6) представляет собой бесконечную гибкую движущуюся ленту *1*, огибающую два барабана. Барабан *2*—головной, ведущий, приводимый в движение от двигателя, сообщает ленте движение благодаря трению между лентой и барабаном. Другой барабан *3*—поворотный, натяжной, изменяет направление движения ленты. Лента поддерживается рабочими роликами *4*, расположенными под грузовой ее частью, и холостыми роликами *5*, помещенными под нерабочей частью транспортерной ленты. Требуемое натяжение ленты поддерживается натяжным устройством *6*.

Для загрузки и разгрузки ленты применяются специальные загрузочные *7* и разгрузочные *8* устройства; конструкция загрузочных устройств оказывает большое влияние на производительность транспортеров и зачастую определяет ее.

Транспортер устанавливают на раме *9*. Грунт (или другой материал) сбрасывается либо в конце транспортера, либо в любом месте по его длине, для чего применяют разгрузочные устройства разных типов.

Транспортерная линия состоит из отдельных звеньев, приводимых в движение от самостоятельных двигателей; грунт, сбрасываемый с одного звена, поступает на приемную воронку следующего звена (рис. 7). Для возможности перегрузки грунта конечная часть каждого звена монтируется с подъемом. Советские звеньевые транспортеры имеют длину звена 40, 80 и 240 *м*. Все звенья приводятся в движение моторами одинаковой мощности, что и определяет длину звена независимо от угла наклона ленты.

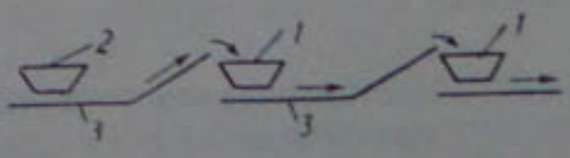


Рис. 7. Транспортерная линия, состоящая из отдельных звеньев:
1—загрузочная воронка; *2*—бункер; *3*—звено.

§ 21. ТРАНСПОРТЕРНЫЕ ЛЕНТЫ

Для транспортеров применяют преимущественно прорезиненные хлопчатобумажные ленты, изготовленные из нескольких слоев специальной хлопчатобумажной ткани: продольных нитей—основы, воспринимающих растягивающие усилия, и утка, обеспечивающего поперечную жесткость ленты. Отдельные прокладки этого многослойного каркаса из ткани связаны между собой вулканизированной резиной, соединяющей их в единое целое. С обеих сторон лента покрывается тонким слоем резины—обкладками, защищающими хлопчатобумажную ткань от повреждений и сырости. Ленты прессуют под давлением 250 *атм* и подвергают предварительному вытягиванию, чтобы уменьшить их удлинение во время работы.

Резиновые ленты хорошо работают при температурах от +20 до −15°. При повышении температуры резина теряет свою эластичность, становится хрупкой и лента быстро разрушается, особенно сильно проявляется потеря пластичности при температуре выше 50°. При морозах больше 15° происходит отвердение резины, появляются трещины и лента рвется.

Промышленность выпускает жаростойкие ленты с асбестовой тканью на специальных резиновых смесях для работы при температурах от +20 до +90° (например, для условий Средней Азии и Закавказья); для работы при температурах от −15 до −55° выпускаются морозостойкие ленты.

Концевые и поворотные барабаны должны иметь достаточный диаметр, чтобы не возникали трещины в обкладочных слоях при огибании барабанов лентой; следует также не допускать повреждения обкладки при разгрузке и погрузке. Необходимо обеспечить вращение всех роликов, так как при остановке хотя бы одного из них обкладка быстро изнашивается.

Наши заводы изготовляют ленты шириной от 300 до 2000 *мм* (ГОСТ 20—54). Длина ленты от 25 до 400 *м*. Ширина ленты назначается в зависимости от требуемой производительности транспортера, а также от крупности материала, переносимого лентой. Ширина ленты должна в 3—5 раз превышать наибольший размер кускового материала.

Число прокладок в резиновых лентах равно от 3 до 12. С увеличением числа прокладок возрастает сопротивление на разрыв, но одновременно увеличивается и жесткость ленты, что сказывается при огибании лентой роликов и барабана.

При изменении ширины лент от 300 до 900 *мм*, а числа прокладок от 3 до 8 толщина лент изменяется от 5,25 до 17,46 *мм*, а вес 1 пог. *м* ленты от 1,30 до 17 *кг*. Толщина обкладок зависит от характера перемещаемого материала. Материал с грубыми острыми поверхностями сильно истирает ленту и для него нужно делать обкладки большей толщины. С рабочей стороны ленты толщина обкладок больше, чем с нерабочей.

Для материалов средней твердости, например для крупного песка, гравия, угля, рекомендуется делать обкладку на рабочей стороне толщиной 3 *мм* и на нерабочей—1 *мм*. Вес резиновой ленты равен 1 $т/м^3$; временное сопротивление ее на разрыв 500 $кг/см^2$. Техническими условиями допускается нагрузка на ленту, не превышающая $^1/_{10}$—$^1/_{12}$ от разрывающей.

Прочность лент. Сопротивление ленты разрыву R обычно выражается в килограммах на 1 *см* ширины каждой прокладки; допускаемое сопротивление ленты принимают $R = 5 \div 7$ *кг/см*. Допускаемое усилие на ленту определяется по формуле:

$$P = RBn,$$

где R — допускаемое сопротивление на 1 *см* ширины ленты (на одну прокладку);

B — ширина ленты в *см*;

n — число прокладок.

Ограниченная прочность обычной прорезиненной ленты заставляет при значительных дальностях транспортировки составлять конвейерную линию

из отдельных звеньев с перегрузкой из одного звена в другое. Это связано с рядом неудобств. Поэтому ведется работа по созданию высокопрочных лент. Применение для этой цели высококачественного длинноволокнистого хлопка позволяет значительно удлинить отдельные звенья конвейера; однако это существенно повышает стоимость ленты—самой дорогой части ленточных транспортеров.

Опыт эксплуатации отечественных лент из уточно-шнуровой ткани, в которой нити основы заменены крученными шнурами, показал, что такие ленты обладают повышенной прочностью и долговечностью; однако значительно увеличивается толщина ленты и ее вес. В США выпускается лента с сочетанием тканевых прокладок со стальными канатиками диаметром 2,5—4 *мм*, завулканизированными внутри ленты[1]. Такая лента изготовляется и в Западной Германии. Ее допустимое сопротивление разрыву на 1 *см* ширины при 11-кратном запасе прочности достигает 200—365 *кг*, что примерно в 20—35 раз превышает допускаемое сопротивление обычной ленты. Длина конвейеров из таких лент почти в три раза превышает допускаемую длину при обычной ленте с 12 прокладками.

Транспортерные ленты со стальными канатиками обладают также другими преимуществами. Поперечная жесткость их, вес и удлинение меньше, чем многопрокладочных прорезиненных лент, что позволяет ленте даже небольшой ширины принимать желобчатую форму и повышает благодаря этому производительность на 10—12%. Диаметр барабанов благодаря меньшей жесткости существенно сокращается. Эксплуатационные испытания лент со стальными канатиками, проведенные в Западной Германии, дали хорошие результаты. Лента шириной 1600 *мм*, двигавшаяся со скоростью 3,5 *м/сек*, после двухлетней эксплуатации и транспортировки около 4 млн. $м^3$ породы, оказалась в хорошем состоянии.

Эти данные, а также опыт американской практики показывают, что ленты со стальными канатиками являются прогрессивным типом сверхпрочных лент, пригодных на длинных и сильно нагруженных транспортерах.

Скорости движения ленты. Производительность транспортера прямо пропорциональна скорости движения ленты.

Наибольшая допускаемая скорость движения ленты зависит от характера материала и крупности его зерен (зерна не должны подпрыгивать и выскакивать на ленту), а также от ширины ленты: узкие ленты изнашиваются быстрее, чем широкие. Поэтому для узких лент допускают меньшие скорости движения.

Скорость движения ленты связана также с тщательностью монтажа и эксплуатации транспортера: чем слабее толчки при набегании ленты на ролики, тем бóльшая скорость движения ленты может быть назначена. Скорость ленты до известной степени зависит и от длины транспортера (или его секции); при длинных транспортерах и больших скоростях движения ленты возможны ее виляние и отклонение в сторону от продольной оси.

Чтоб уменьшить перекашивание и виляние ленты при ширине ее до 600 *мм*, раньше устанавливали боковые направляющие ролики через 15—25 *м*; однако они ускоряют износ ленты и сокращают ее срок службы. В настоящее время применяют поворотные роликовые опоры, автоматически центрирующие ленту.

Рекомендуется принимать следующие максимальные скорости движения ленты:

ширина ленты в *мм*	400	500	650	850	1000	1200	1400 и более
скорость движения ленты в *м/сек* . . .	1,5	1,75	20	2,5	2,75	3,0	4—5

Однако нет никаких оснований считать эти скорости предельными. Опыт новаторов производства, повысивших на передвижном транспортере

---

[1] В. К. Дьячков. Новые конструкции ленточных конвейеров. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 5, 1955.

скорость ленты шириной 500 *мм* с 0,9 до 3,8 *м/сек*, показал полную возможность значительного увеличения скорости движения лент.

В отдельных случаях могут быть поставлены специальные условия, например минимум пыления при транспортировке цемента, недопущение размельчения угля и др. Если транспортерная лента состоит из нескольких отдельных секций и материал передается с одной секции на другую, то рекомендуется несколько (например, на 0,075 *м/сек*) увеличивать скорость ленты последующей секции по сравнению с предыдущей, чтобы избежать переполнения ленты в месте перегрузки.

Для наклонных транспортеров рекомендуется понижать скорость движения лент:

на	9%	при	угле	наклона	ленты	к	горизонту	в 5°
»	17%	»	»	»	»	»	»	» 10°
»	22%	»	»	»	»	»	»	» 13°
»	27%	»	»	»	»	»	»	» 16°
»	33%	»	»	»	»	»	»	» 19°
»	39%	»	»	»	»	»	»	» 22°

При наличии боковой разгрузки плужками последние надежно работают, если скорости не превышают 1,25—1,6 *м/сек*; при бо́льших скоростях происходит подбрасывание плужков, пропуск грунта и повреждение ленты.

При наличии сбрасывающих тележек скорости ленты назначаются до 2,5 *м/сек*. При транспортировании цемента и других пылевидных материалов скорость снижается до 1,5 *м/сек*; для бетонной смеси во избежание ее расслоения, а также для крупнокусковых материалов скорость ленты принимается до 1 *м/сек*[1].

Сращивание лент приходится выполнять при монтаже транспортеров и при их эксплуатации, так как случаи разрыва лент во время работы нередки. К сращиванию предъявляют следующие требования: 1) высокая прочность стыка; 2) отсутствие заметных утолщений ленты; 3) отсутствие перекосов ленты; 4) быстрота сращивания; 5) гибкость стыка.

Сращивание лент может производиться различными способами: сшивкой, соединением скобами, заклепками и другими металлическими деталями, бесшовным соединением—склеиванием или электровулканизацией.

Независимо от способов сращивания ленты должны быть предварительно подготовлены, так как они во время хранения в кругах несколько теряют свою эластичность и стремятся сохранить форму, приобретенную ими во время лежания. Чтобы придать эластичность ленте, ее протягивают несколько раз через ряд валов, расположенных между двумя брусьями. Для ликвидации усадки ленту перекладывают через валы диаметром 500 *мм* и подвешивают к ее концам груз из расчета 450 *г* на 1 *мм*^{2} сечения ленты.

Для сшивки ленты сыромятными ремешками стык с обеих сторон перекрывают накладками из холста или тонкой кожи. Однако такой способ сшивки не обеспечивает прочности стыка. Кроме того, стык получается утолщенным и часто перекашивается из-за вытягивания сыромятных ремешков.

Склеивание ленты дает лучшие результаты. Для этого ленту предварительно подготовляют в виде ступенчатого стыка. На концах ленты нарезают косые ступени по числу прокладок, очищают поверхности ступеней от старой резины, склеивают их холодным или горячим способом и зажимают стык между двумя плитами на 10—20 часов.

Простое и быстрое соединение лент получается посредством соединительных скоб, однако прочность стыка уменьшается на 25—40%, нарушается основа ремня, стык получает утолщение и быстро разрушается, очистка ленты затрудняется.

Наиболее рациональным является бесшовное соединение транспортерных лент, выполненное способом электровулканизации. Концы лент под-

---

[1] И. Я. Коган. Ленточные конвейеры в гидротехническом строительстве. Машгиз, 1953.

готовляют так же, как при склеивании. Практика показала хорошие качества бесшовного стыка, прочность которого достигает 85—90% прочности стыкуемых лент. Ход транспортерной ленты, благодаря отсутствию утолщения в стыке, получается плавным, без толчков и ударов, что способствует значительному удлинению срока службы ленты и поддерживающих роликов.

Наибольший угол наклона ленты зависит от характера перемещаемого материала, величины его внутреннего трения и плавности хода ленты. Учитывая наличие толчков при движении ленты, угол ее наклона к горизонту должен быть несколько меньше угла внутреннего трения транспортируемого материала.

Во избежание обратного скатывания материалов предельные углы наклона транспортеров не должны быть больше следующих величин: для сухого песка—15°, гравия—20, щебня—20, дробленого камня—18—20, цемента—20°. По СН и П 1954 г., угол наклона транспортерной ленты при подъеме бетонной смеси с осадкой конуса до 4 *см* не должен превышать 20° и при спуске 12°, а с осадкой конуса от 4 до 8 *см* соответственно 15 и 10°.

Новые типы транспортерных лент. За рубежом применяются транспортерные ленты с дополнительным тяговым элементом в виде канатика диаме-

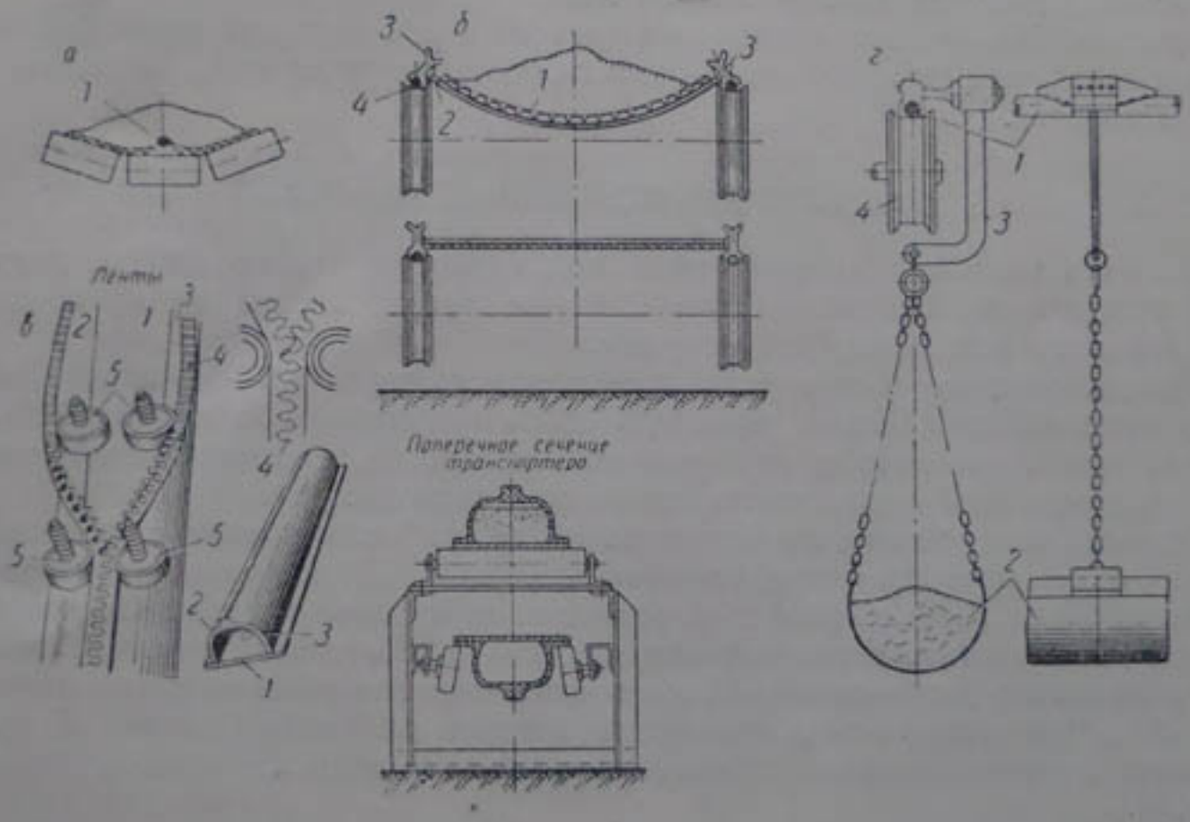


Рис. 8. Новые типы транспортерных лент:

а—лента с дополнительным тяговым элементом: *1*—канат. *б*—канатно-ленточный транспортер: *1*—лента; *2*—стальные полосы-рессоры, прикрепляемые к ленте с некоторыми интервалами; *3*—зажимы для прикрепления рессор к тяговому канату; *4*—тяговый канат. *в*—трубчатый ленточный транспортер с механической застежкой: *1*—нижняя лента; *2* и *3*—боковые ленты; *4*—зубцы; *5*—направляющие ролики. *г*—подвесной ленточный транспортер: *1*—стальной канат; *2*—прорезиненная лента; *3*—кронштейн; *4*—опорный блок.

тром 16—19 *мм*, заделанного в ленту (рис. 8, *а*). Последняя служит только несущим элементом, поэтому число прокладок незначительно (не более 3—4). Недостатки этих лент состоят в различных удлинениях каната и ленты, а также в сложности изготовления и дороговизне лент.

К установкам с раздельным тяговым и несущим элементами относится также канатно-ленточный транспортер (рис. 8, *б*) длиной до 100 *м*. К недостаткам его относятся сложность привода и возможность неодинакового удлинения канатов.

В США разработана конструкция трубчатого ленточного транспортера, с механической застежкой, в котором несущим и тяговым элементом

является желоб-труба, составленная из трех соединенных между собой лент (рис. 8, *в*).

К нижней ленте *1* прикреплены вулканизационной склепкой боковые ленты *2* и *3*, соединенные механической застежкой, для чего верхние кромки этих лент снабжены зубцами *4*. В образованной таким образом трубе транспортируется груз. Труба раскрывается при загрузке и разгрузке и закрывается при транспортировании направляющими роликами *5*.

Высокая стоимость и сложность эксплуатации ограничивают распространение транспортеров этого типа.

В Западной Германии изготовлено и опробовано новое транспортирующее устройство для массовых грузов—подвесная лента (рис. 8, *г*). Тяговым элементом является стальной канат *1*, а несущим—прорезиненная лента *2*, с 3—4 прокладками, подвешенная к кронштейнам *3*, прикрепленным к тяговому канату. Последний поддерживается блоками *4* и огибает два концевых блока (приводной и натяжной).

Производительность транспортера с желобчатой лентой на 12—15% выше производительности обычного транспортера с лентой той же ширины. Скорость 1÷4 *м/сек*, ширина ленты 800—1400 *мм*, производительность до 2500 $м^3/час$, диаметр каната 24—66 *мм*.

Достоинства этого транспортера состоят в его высокой производительности и возможности транспортировки на большие расстояния по пересеченной местности[1].

§ 22. РАБОЧИЕ И ХОЛОСТЫЕ РОЛИКИ

Рабочие ролики, располагаемые под грузовой частью ленты, должны быть расставлены настолько часто, чтобы прогиб ленты не превосходил 2—3% расстояния между их опорами.

Рекомендуется рабочие ролики располагать через 1,2—1,5 *м* при ширине ленты от 400 до 800 *мм* и через 1,0—1,3 *м* при ширине от 1000 до 1500 *мм*. С увеличением расстояния между роликами против указанных норм возрастает провес ленты и увеличивается расход энергии.

При транспортировании бетонной смеси рабочие ролики ставят через 0,8—1,0 *м*. Расстояния между роликами на холостой части ленты принимают равными 2,50 и 3,00 *м*. В местах загрузки материала ставят не менее трех роликов, располагая их на расстоянии 0,40÷0,50 *м* один от другого. Задний ролик ставят на расстоянии 0,15 *м* от места падения материала на ленту.

Чтобы предотвратить повреждение ленты и роликов, в местах загрузки применяют ролики с резиновыми бандажами в виде сплошных оболочек и колец.

Ролики изготовляют из стальных сварных или цельнотянутых труб с вращающимися или неподвижными осями. При вращающихся осях возможны перекосы роликов, заклинивание их и попадание грязи с маслом на трущиеся поверхности. Ролики с неподвижными осями свободны от этих недостатков и получили широкое распространение. Плоские роликовые опоры применяются для поддержания холостой части ленты, а желобчатые ставят под грузовой частью ленты. Применение желобчатых роликов на грузовых частях ленты объясняется тем, что возможная нагрузка материала на такую ленту почти вдвое больше, чем на плоскую.

Наиболее распространены желобчатые опоры из трех роликов. Длина роликовых опор на 100—200 *мм* больше ширины ленты. Зазоры между торцами горизонтальных и наклонных роликов не должны быть больше 2—3 *мм* чтобы в них не затягивалась лента. Оси роликов устанавливают перпендикулярно к продольной оси ленты.

---

[1] В. К. Дьячков. Новые конструкции ленточных конвейеров. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 5, 1955.

§ 23. НАТЯЖНЫЕ, ПРИВОДНЫЕ, ЗАГРУЗОЧНЫЕ И РАЗГРУЗОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА

Натяжные устройства. Лента во время работы вытягивается. Для регулирования длины и натяжения ленты применяют специальные натяжные устройства—ручные и автоматические. Длина их хода должна превышать на 15—20% возможное удлинение ленты и обычно составляет 1—1,5% от длины транспортера.

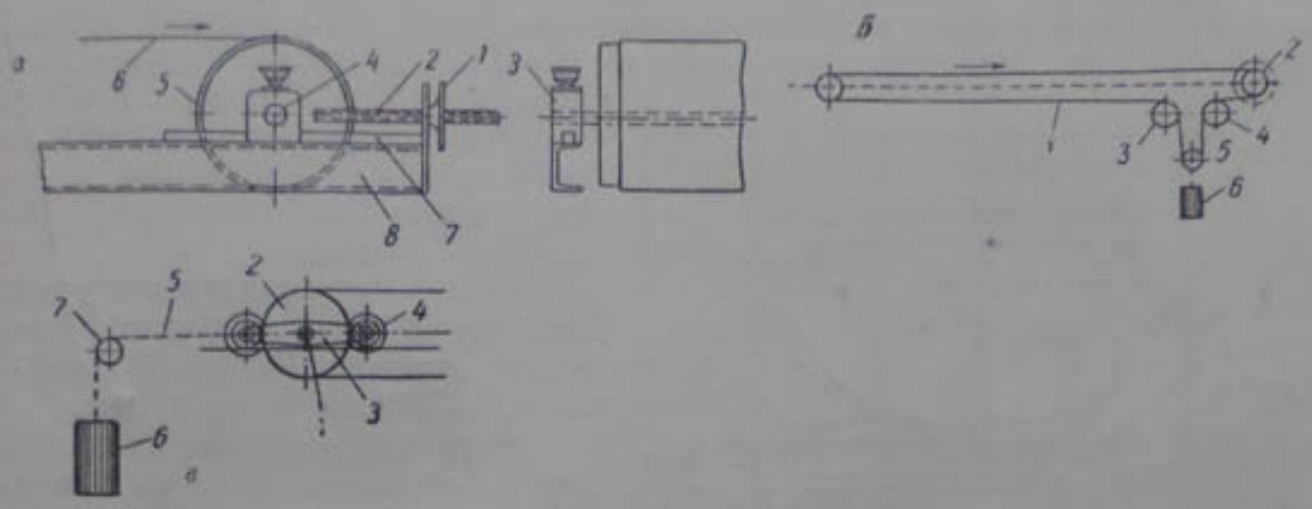


Рис. 9. Натяжные устройства:

а—ручное винтовое: *1*—маховик; *2*—винт; *3*—подшипник; *4*—вал; *5*—натяжной барабан; *6*—лента; *7*—направляющие планки; *8*—станина. *б*—автоматическое вертикальное: *1*—холостая ветвь; *2*—приводной барабан; *3*, *4* и *5*—направляющие барабаны; *6*—груз. *в*—автоматическое горизонтальное: *1*—ось барабана; *2*—натяжной барабан *3*—тележка; *4*—колеса; *5*—трос; *6*—груз; *7*—барабан.

Ручные натяжные приспособления неудобны тем, что их приходится часто подтягивать; поэтому они применяются лишь на передвижных и коротких транспортерах длиной до 40 *м*. Винтовое ручное натяжное устройство показано на рисунке 9, *а*; ход его изменяется от 0,5 до 1 *м*.

Автоматические натяжные приспособления поддерживают постоянное натяжение ленты независимо от степени ее вытягивания. Они бывают горизонтальные и вертикальные. Натяжная станция вертикального типа представлена на рисунке 9, *б*. На холостой ветви *1* вблизи приводного барабана *2* расположены барабаны *3*, *4* и *5*, огибаемые лентой. Барабаны *3* и *4* установлены на неподвижных подшипниках, а барабан *5* свободно подвешен на ленте. Груз *6*, состоящий из нескольких дисков, подвешивается к барабану *5*. Нагрузку увеличивают до тех пор, пока не будет достигнут плавный и спокойный ход ленты.

При автоматическом горизонтальном натяжном устройстве (рис. 9, *в*) ось *1* натяжного барабана *2* закреплена в подшипниках, помещенных на тележке *3* с колесами; к тележке прикреплен трос *5* с грузом *6*, перекинутый через барабан *7*. Подобное устройство весьма удобно и находит широкое применение.

Натяжное устройство следует располагать в тех точках транспортера, в которых ожидается наименьшее натяжение лент. Это позволяет уменьшить вес натяжного груза.

Приводные устройства. Ленточные транспортеры приводятся в движение силой трения между лентой и вращающейся поверхностью приводного барабана. Движение ведущему барабану сообщается от электродвигателя через редуктор или с помощью ременной, канатной или зубчатой передачи.

Приводное устройство обычно располагают в головной части транспортера с тем, чтобы грузовая ветвь была набегающей. Располагать приводное устройство в хвостовой части транспортера не следует, так как при этом трудно отрегулировать плавную, без виляний, работу ленты.

Барабаны. По своему назначению барабаны разделяются на приводные, натяжные, оборотные (концевые) и вспомогательные (отклоняющие).

Конструкция и размеры направляющих и ведущих барабанов оказывают большое влияние как на срок службы ленты, так и на успешность работы транспортеров. Барабаны должны быть достаточного диаметра с тем, чтобы уменьшить усилия, расходуемые на преодоление жесткости лент, и предотвратить их быстрый износ. Жесткость лент зависит от числа прокладок; поэтому диаметр барабана выбирается в зависимости от толщины лент или числа прокладок.

Продолжительность работы ленты до начала расслаивания прокладок в значительной степени зависит от диаметров барабанов. Диаметр приводного барабана определяют по формуле $D=(125\div150)z$ *мм*, где z—число прокладок в ленте. Диаметр остальных барабанов (натяжного, концевого, вспомогательного) определяют по формуле $D=(75\div100)\,z$ *мм*.

Барабаны и ролики для узких лент (до 600 *мм*) делают на 50 *мм*, а для широких (более 600 *мм*)—на 100—200 *мм* шире ленты.

Барабаны отливают из чугуна; для облегчения веса их иногда изготовляют из стального листа с двумя дисками, приваренными к ободу и чугунным ступицам.

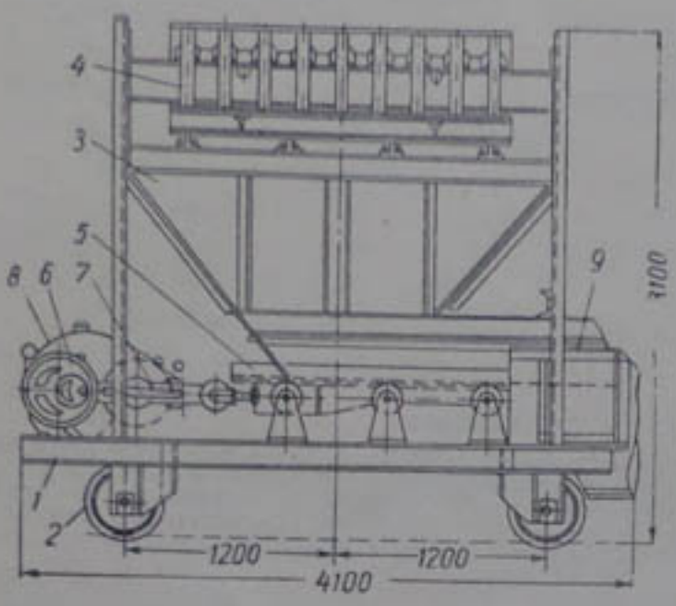


Рис. 10. Передвижной бункер-питатель Т-85:
1—рама; *2*—колеса; *3*—бункер; *4*—наклонная решетка; *5*—лоток; *6*—эксцентриковый механизм; *7*—шатун; *8*—редуктор; *9*—направляющая воронка.

Загрузочные устройства. Способ загрузки ленточных транспортеров определяет их производительность. Загружать транспортер надо равномерно, чтобы избежать его перегрузки и недогрузки. В целях уменьшения износа ленты направление движения поступающего материала должно совпадать с направлением движения ленты, а скорость его движения должна быть близка к скорости движения ленты. При погрузке грунта экскаваторами в транспортеры следует применять передвижные загрузочные устройства. Последние состоят из передвижного бункера с питателем, подающим грунт на транспортер. Экскаватор грузит грунт в бункер, затвором регулируют интенсивность поступления грунта на питатели, воронка служит приемником грунта, формирующим его поперечное сечение, а питатель подает грунт на транспортер. Для подачи легких сыпучих материалов применяются ленточные питатели, а для крупнокусковых—пластинчатые.

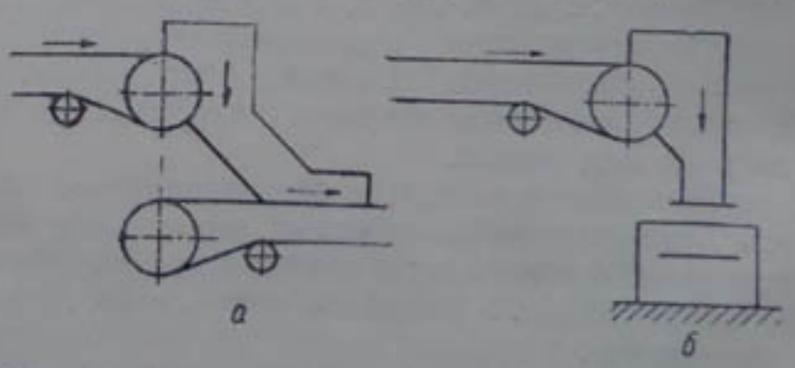


Рис. 11. Схемы перегрузочных узлов стационарных ленточных конвейеров:
а—перегрузка по прямой; *б*—перегрузка под углом.

Передвижной бункер Т-85 (рис. 10) емкостью 5,2 $м^3$ имеет питатель в виде лотка и шириной 1 *м*, который приводится в действие эксцентриковым механизмом и делает 60 ходов в минуту. Производительность его 200 $м^3/час$; вес 4,2 *т*, мощность электродвигателя 6 *квт*.

Разгрузочные устройства. Разгружать транспортер можно в его конце или в промежуточных точках его длины. При перегрузке материала с одного транспортера на другой, а также при сбрасывании материала с конца транспортера около концевого барабана ставят лоток или кожух (рис. 11).

Для сбрасывания материала в промежуточных точках транспортера применяют различного рода сбрасыватели. Простейшими служат плужковые сбрасыватели, состоящие из деревянного или металлического ножа, обитого снизу резиной; для двусторонней разгрузки ставят два щита (волнореза) под углом друг к другу (рис. 12, *а*).

Недостатки плужковых сбрасывателей состоят в большом износе ленты и малой высоте разгрузки. Кроме того, наиболее мелкий материал проходит дальше под доской или прилипает к ленте и в дальнейшем вдавливается в нее при прохождении ленты по холостым роликам и барабанам, что приводит к ее порче.

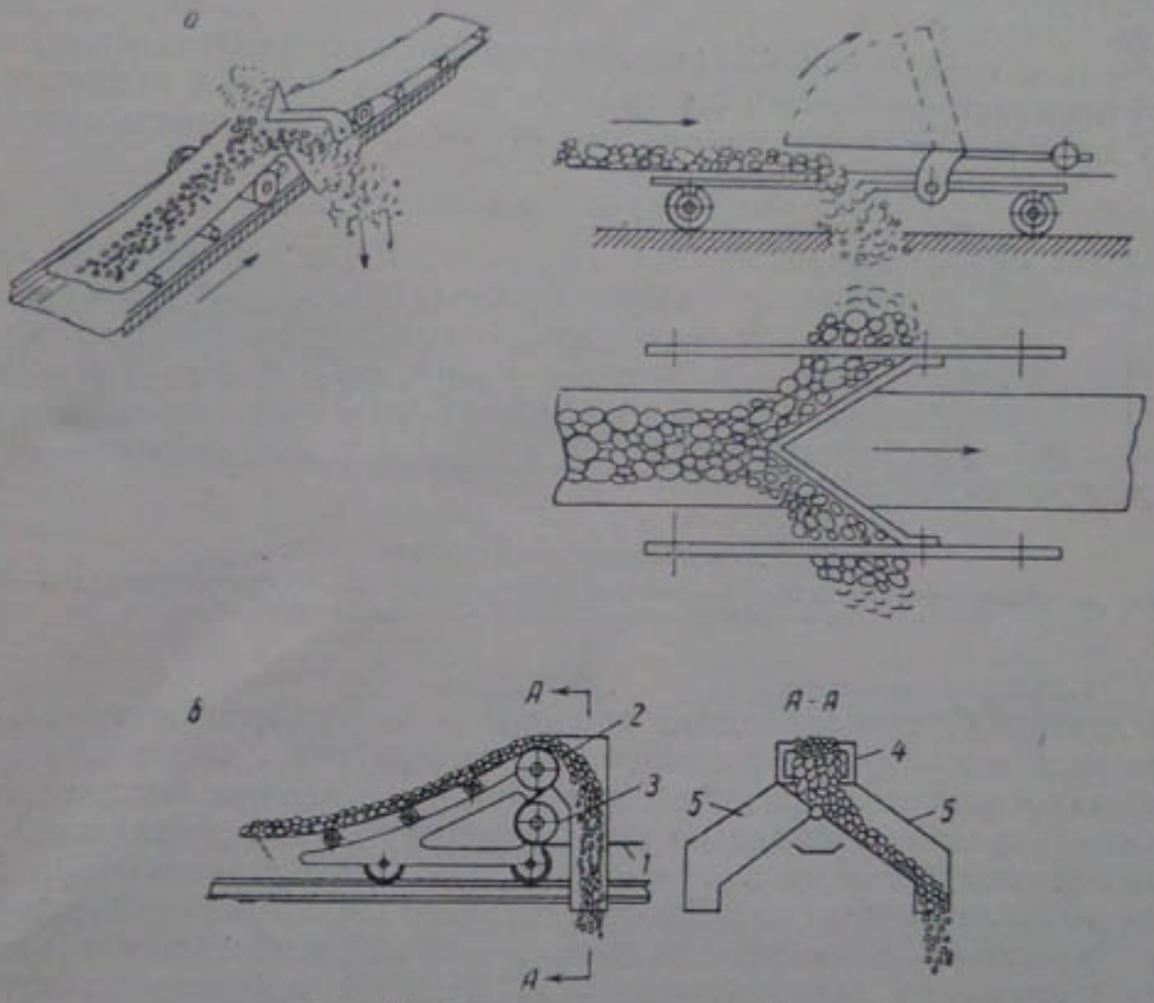


Рис. 12. Сбрасывающие устройства:
а—плужковый передвижной сбрасыватель с ручным приводом и двусторонним щитом; *б*—сбрасывающая тележка: *1*—лента; *2* и *3*—барабаны; *4*—воронка; *5*—рукава.

Сбрасывающие тележки имеют один над другим два барабана *2* и *3* (рис. 12, *б*), огибаемые лентой *1*. Грунт, сбрасываемый с верхнего барабана, попадает в воронку *4* с двумя рукавами *5*, перекрываемыми затворами, и разгружается рядом с транспортером. Тележка имеет металлическую раму, передвигающуюся на четырех колесах по треку вдоль станины транспортера. Тележка передвигается вручную. Для удержания ее на месте имеется тормозное устройство. Ручные сбрасывающие тележки весом 890—975 *кг* изготовляются для лент шириной 400, 500 и 600 *мм*.

Для лент большей ширины применяют автоматические тележки подобного же типа, передвигаемые усилием самой ленты, либо от самостоятельного двигателя.

Станины транспортеров, опирающиеся на землю в ряде опорных точек, служат для поддерживания роликовых опор, приводного и натяжного устройства. Станины бывают деревянные (на сваях или лежнях) или металлические. Так как транспортеры приходится часто переставлять, то предпочтительны металлические, разборные, легко переставляемые станины, что и осуществлено в транспортерах, собираемых из отдельных звеньев.

Простейшие станины изготовляются из двух продольных уголков или швеллеров, опирающихся через 3—4 *м* на стойки; иногда уголки заменяют рамой из труб.

На транспортерах, работающих продолжительное время, верх станины обшивается сплошным настилом для защиты нижней ленты от просыпающегося груза.

§ 24. ЗВЕНЬЕВЫЕ И ПЕРЕДВИЖНЫЕ ТРАНСПОРТЕРЫ

Звеньевые транспортеры. Промышленность выпускает две модели звеньевых транспортеров.

Звеньевой транспортер Т-47 (рис. 13) имеет металлическую станину в виде решетчатой пространственной фермы и состоит из отдельных элементов длиной по 2,5 *м* и весом (с роликами) 85,3 *кг*. Из таких элементов составлено

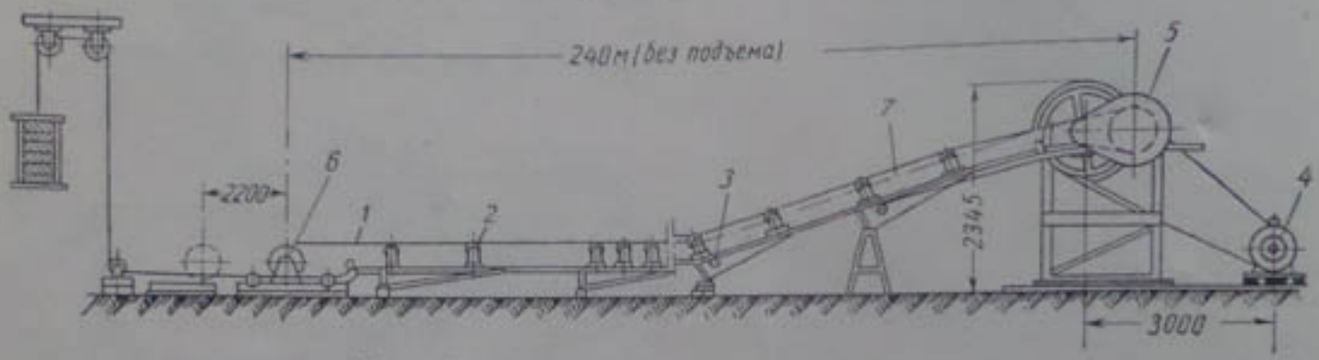


Рис. 13. Звеньевой транспортер Т-47:
1—лента; *2*—верхняя роликоопора; *3*—нижняя роликоопора; *4*—электродвигатель; *5*—приводная станция; *6*—натяжная станция; *7*—промежуточное звено.

звено длиной 240 *м* с приводной станцией и электродвигателем 27,5 *квт* с натяжной автоматической станцией грузового типа. Отдельные секции шарнирно соединяются накидными крюками, что позволяет быстро собирать и разбирать транспортер; однако такая станина не имеет достаточной жесткости и под каждую стойку, т. е. через 2,5 *м*, необходимо ставить опоры. Прокладочная лента желобчатой формы шириной 650 *мм* может передвигаться со скоростью 2 *м/сек*; угол подъема ленты 22°, наибольшая предельная высота подъема на каждом звене 15 *м*. Загрузка транспортера производится через бункер-питатель на рельсовом ходу либо через короткие транспортеры-питатели; общий вес транспортера длиной 240 *м* равен 17,7 *т*. Производительность до 200 $м^3/час$.

Из отдельных звеньев может быть составлен транспортер значительной длины. Монтаж звеньевых транспортеров состоит в установке и соединении отдельных элементов станины, установке натяжной и приводной станций и сшивке ленты.

Выпускаются также звеньевые транспортеры Т-46А длиной 40 и 80 *м*; лента желобочная шириной 500 *мм*; скорость ленты 1,31 *м/сек*; вес транспортера 1,8 и 3,2 *т*.

Наибольшая высота разгрузки 7 *м*; электродвигатель мощностью 5,8 *квт*; предельный угол подъема 22°; производительность 60 *т/час*.

Передвижные транспортеры. Широко распространены передвижные ленточные транспортеры длиной 5—10—15 *м* для транспортирования на короткие расстояния разного рода грузов, в том числе и грунтов. В таблице 4 приведена краткая техническая характеристика передвижных транспортеров, выпускаемых нашей промышленностью.

Передвижные транспортеры передвигают и переносят вручную. Для более широкого применения их на гидромелиоративных стройках, часто отдаленных от источников) электроэнергии, необходимо, чтобы передвижные транспортеры были снабжены двигателями внутреннего сгорания.

Таблица 4

Техническая характеристика передвижных транспортеров

Марка транспортера	Полезная длина в м	Ширина ленты в мм	Скорость движения ленты в м/сек	Расчетная производительность в м³/час	Наибольшая высота разгрузки в м	Мощность электродвигателя в квт	Вес транспортера в т
Т-45[1]	15	500	1,5	125	5	2,5—5,5	1,13
Т-144	15	500	1,6	90[2]	5,5	2,8	1,01
Т-44	5	400	1,6	150	0,7	1,8	0,28
Т-80А	10	400	0,8	27	1,8 (на колесном ходу)	1,5	0,38

§ 25. ОЧИСТКА ЛЕНТЫ И БАРАБАНОВ

После огибания головного барабана лента поворачивается вниз обкладкой, на которой лежал транспортируемый материал. В таком положении она перемещается по поддерживающим роликам холостой ветви и по направляющим барабанам вертикального натяжного устройства. Прилипшие частицы транспортируемого материала загрязняют ролики и барабаны и попадают

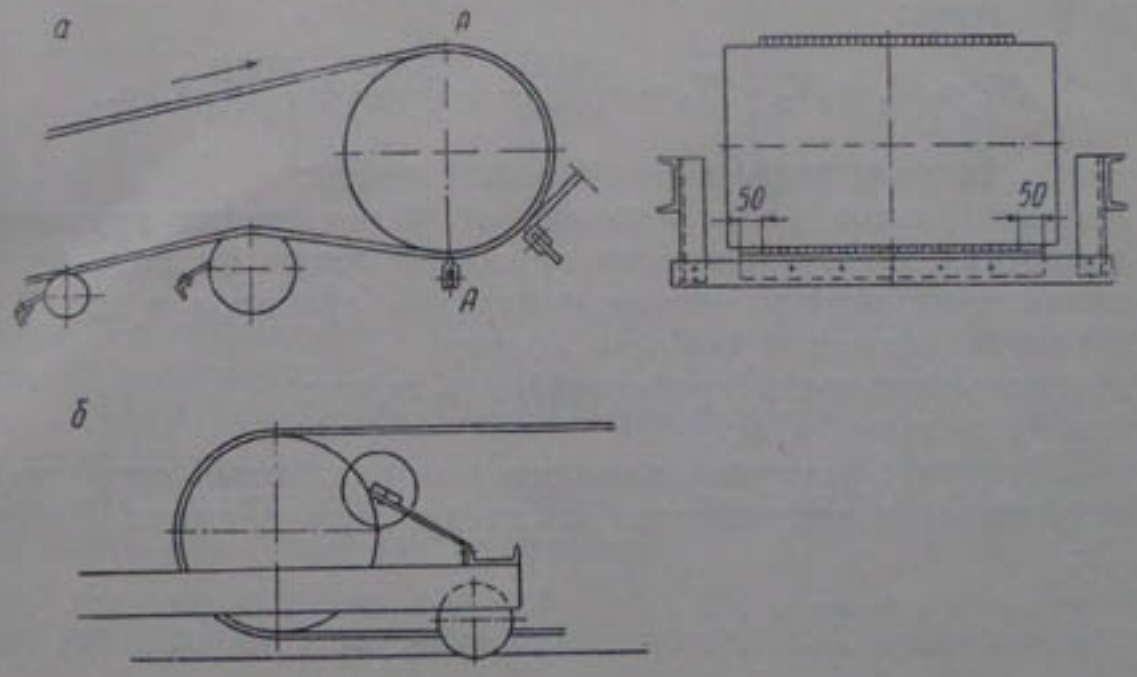


Рис. 14. Установка скребков:
а—для очистки ленты; *б*—для очистки барабанов.

между их трущимися частями, что повышает расход энергии при холостом ходе, а также вызывает порчу и остановку роликов. Кроме того, острые частички транспортируемого материала вдавливаются в ленту и портят ее обкладку. Поэтому необходима очистка ленты от грязи.

Очищать надо не только ленту, но и барабаны и 2—3 роликовые опоры вблизи разгрузочного конца транспортера. Чаще всего для очистки ленты применяют скребки из технической резины. В зависимости от характера транспортируемого материала у мест разгрузки и у натяжных барабанов ставят один, два или четыре неподвижных скребка (рис. 14). Иногда очистку ленты выполняют скребками, установленными на бесконечной цепи, которая движется навстречу ленте, вследствие чего интенсивность очистки увеличивается.

---

[1] Транспортер Т-45 снят с производства. Однако на стройках имеется еще значительное количество этих механизмов.

[2] Расчетная производительность 6 *т/час*.

При транспортировании вязких материалов не удается полностью очистить ленту резиновыми скребками, и последние заменяют щетками, вращающимися в направлении, противоположном движению ленты. При транспортировании бетонной смеси и растворов вместо проволочных щеток применяют вращающиеся резиновые спиральные щетки.

§ 26. РАСХОД ЭНЕРГИИ

Чтобы привести в движение ленточный транспортер, затрачивается небольшое количество энергии, значительно меньшее, чем при других видах транспорта.

Мощность двигателя должна быть достаточной для преодоления всех сопротивлений, возникающих при работе транспортера.

Сопротивления на огибание лентой барабанов и на подъем грузов над роликами незначительны и при приближенных расчетах не учитываются. Сопротивление в сбрасывающих устройствах должно учитываться в тех случаях, если по ходу работ представляется необходимым производить сбрасывание в пределах данного звена. Сопротивление на пуск груженой ленты следует учитывать, так как остановки груженой ленты по тем или иным причинам всегда могут иметь место.

Точный расчет необходимой мощности для каждой секции транспортера представляется довольно сложным. Поэтому обычно пользуются приближенными формулами. Мощность привода на валу барабана определяют по следующей формуле:

$$N_0 = N_1 + N_2 + N_3 = \frac{7{,}4kLv}{10\,000} + \frac{2\Pi L}{10\,000} + \frac{37\Pi H}{10\,000} \text{ л. с.}, \qquad (21)$$

где N_1 — сопротивление хода незагруженной ленты;
N_2 — дополнительное сопротивление от перемещения груженой ленты;
N_3 — сопротивление от движения груженой ленты на подъем;
L — длина транспортера между центрами барабанов в *м*;
v — скорость движения ленты в *м/сек*;
Π — производительность транспортера в *т/час*;
H — высота подъема в *м*;
k — коэффициент, величина которого для роликовых опор на шарикоподшипниках определяется по следующим данным:

ширина ленты в *мм*	400	500	600	750	900	110	1300
коэффициент k	26	32	36	47	62	77	93

При небольших длинах транспортеров рекомендуется увеличить полученную мощность: на 20% — при $L < 15$ *м*, на 10% — при $L = 15 \div 30$ *м*, на 5% — при $L = 30 \div 45$ *м*.

При наличии сбрасывающих устройств учитывается дополнительная мощность $N_{сб}$. При двухбарабанных несамоходных сбрасывателях:

$$N_{сб} = 0{,}225N_0 + 0{,}007\Pi \text{ л. с.};$$

при двухбарабанных самоходных сбрасывателях:

$$N_{сб} = 0{,}275N_0 + 0{,}007\Pi + 0{,}5 \text{ л. с.};$$

при сбрасывателях плужкового типа (волнорез или щит):

$$N_{сб} = 0{,}0001\Pi \text{ л. с.}, \text{ но не менее } 0{,}5 \text{ л. с.}$$

Суммарный расход мощности на валу приводного барабана:

$$N_0' = N_0 + N_{сб}.$$

Учитывая возможность пуска в ход груженой ленты транспортера после вынужденной его остановки (работа в морозы, пыль, недостаточный

уход), следует увеличить полученную мощность $N'_б$ на валу барабана на 10—20%. Мощность двигателя для приведения в движение транспортера равна:

$$N_д = \frac{N'_б}{\eta} л.\ с.,$$

где η — коэффициент полезного действия передач.

Зная $N'_б$, можно определить тяговое усилие по формуле:

$$F = \frac{75N'_б}{v} кг, \tag{22}$$

где v — скорость тягового органа в *м/сек*. По величине F можно определить наибольшее натяжение ленты P, зависящее от величины тягового усилия, угла обхвата барабана лентой и коэффициента трения между барабаном и лентой по формуле:

$$P = \beta F \ кг, \tag{23}$$

где β — коэффициент, значения которого приведены в таблице 5.

Таблица 5

Значения коэффициента β

Коэффициент трения между лентой и барабаном	Угол обхвата барабана лентой α в град.					
	180	210	240	270	360	450
$f=0{,}2$	2,15	1,93	1,76	1,64	1,40	1,26
$f=0{,}3$	1,64	1,50	1,40	1,32	1,18	1,11
$f=0{,}35$	1,50	1,38	1,30	1,24	1,12	1,08

В таблице 5 коэффициент трения $f=0{,}2$ принят для чугунных или стальных барабанов, работающих во влажной атмосфере; $f=0{,}3$—для барабанов, работающих в сухой атмосфере; $f=0{,}35$—для футерованных барабанов, работающих в сухой атмосфере.

Зная растягивающее усилие P, можно определить необходимое число прокладок в ленте при заданной ее ширине.

§ 27. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЛЕНТОЧНЫХ ТРАНСПОРТЕРОВ

Производительность ленточных транспортеров зависит от ширины ленты и формы ее поперечного сечения, скорости движения ленты, свойств транспортируемого груза, угла наклона транспортера и т. д.

Для определения теоретической производительности ленточных транспортеров можно пользоваться следующими формулами [1].

Для плоской ленты и сыпучего груза:

$$П = 150B^2v\gamma \ т/час; \tag{24}$$

для желобчатой ленты и сыпучего груза:

$$П = 300B^2v\gamma \ т/час; \tag{25}$$

для желобчатой ленты и бетонной смеси:

$$П = 170B^2v\gamma \ т/час, \tag{26}$$

где $П$ — производительность в *т/час*;

B — ширина ленты в *м*;

---

[1] И. Я. Когаи. Ленточные транспортеры в гидротехническом строительстве. Машгиз, 1953.

v — скорость движения ленты в *м/сек*;

γ — насыпной вес транспортируемого груза в $т/м^3$.

При равномерном и непрерывном питании производительность может быть повышена на 20 — 25%.

При наклонных транспортерах поперечное сечение слоя материалов уменьшается и в указанные формулы производительности должен быть введен поправочный коэффициент от 0,95 при угле наклона транспортера $\alpha = 10°$ до 0,89 при $\alpha = 14°$ и 0,76 при $\alpha = 22°$.

Указанные поправочные коэффициенты действительны только при таких углах наклона транспортера, при которых материал не сползает вниз по ленте.

§ 28. ИЗНОС ЛЕНТЫ И СРОК ЕЕ СЛУЖБЫ

Срок службы ленты зависит от условий работы, тщательности монтажа и ухода за транспортером; большое значение имеет сохранность обкладок и кромок ленты.

При старении резина твердеет, теряет гибкость и разрушается. Пребывание на солнце ускоряет процессы старения резины, поэтому рекомендуется закрывать передвижные транспортеры во время перерывов в работе брезентом или ставить в сарай.

Основное влияние на срок службы ленты оказывает монтаж транспортера и тщательный уход за ним.

Известны случаи работы транспортеров в течение 6500—10 000 часов с весьма малым износом ленты при транспортировке различных грунтов, гравия и песка для бетона.

§ 29. СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЗЕМЛЕВОЗНОГО ТРАНСПОРТА

Для экономического сравнения различных видов землевозного транспорта нами произведены расчеты удельной стоимости транспортировки (1 $м^3$ грунта на 1 *км*) для котлованов (выемок) различной кубатуры и разных типов дорог, имея в виду, что стоимость последних должна быть отнесена к стоимости земляных работ при разработке котлована. При расчетах приняты следующие типы дорог:

а) для забойных дорог при автотранспорте—грунтовые дороги, улучшенные гравием стоимостью 3,55 руб. на 1 $м^2$;

б) для магистральных и котлованных дорог при автотранспорте—щебеночные шоссе с пропиткой битумом стоимостью 27 руб. за 1 $м^2$ (по данным Куйбышевгидростроя);

в) для выемки кубатурой в 50 тыс. $м^3$ принят вариант с грунтовыми дорогами, улучшенными гравием (для автотранспорта);

г) для большегрузных тракторных прицепов приняты грунтовые дороги, улучшенные гравием;

д) транспортировка грунта ленточными транспортерами подсчитана для звеньевых транспортеров Т-47.

Результаты расчетов нанесены на график (рис. 3).

Рассмотрение графика показывает:

1. Удельная стоимость транспортировки для рассмотренных видов транспорта сильно изменяется в зависимости от кубатуры котлована (выемки) и типа дорог.

Поэтому нельзя говорить об экономических преимуществах того или иного вида транспорта вообще, а следует их оценивать с учетом конкретных условий данного котлована (выемки).

2. Тип землевозных дорог сильно влияет на удельную стоимость транспортировки. Для автотранспорта при объемах котлована (выемки) примерно от 500 тыс. $м^3$ до 1 млн. $м^3$ устройство щебеночного шоссе с пропиткой битумом экономически оправдывается, а для котлованов от 50 до 300 тыс. $м^3$ щебеночное шоссе значительно удорожает перевозки; в этих случаях окупаются

только более дешевые автодороги (грунтовые дороги, улучшенные гравием). Устройство бетонных автодорог должно окупаться только при очень крупных объемах котлована, порядка нескольких миллионов кубометров.

3. Транспортировка ленточными транспортерами успешно конкурирует с автосамосвалами, особенно при больших объемах и небольших расстояниях перемещения (1—1,5 *км*).

4. При небольшой кубатуре котлована (выемки) большегрузные тракторные прицепы могут конкурировать как с автосамосвалами, так и с ленточными транспортерами.

Глава III

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

§ 1. ВАЛКА И РУБКА ЛЕСА

Территорию, на которой по проекту должны расположиться гидротехнические сооружения, карьеры, резервы, нужно очистить от леса и кустарника, а пни выкорчевать. Последнее требование обусловливается тем, чтобы в основании под сооружениями не могли образоваться ходы после сгнивания крупных корней; необходимо это и потому, что оставшиеся пни будут мешать работе землеройных и транспортных машин.

Применяются два способа очищения территории от леса: валка деревьев с корнями и спиливание с последующей корчевкой пней.

Валка леса с корнями применяется для пород с поверхностной корневой системой, при незамерзших грунтах; ее выполняют тракторами, взрывным способом, бульдозерами.

На валке леса применение трактора целесообразно, когда земля может выдержать его давление. В зависимости от диаметра дерева, плотности почвы и развитости корневой системы валку леса можно выполнять, используя прямое тяговое усилие трактора, либо применяя лебедку, поставленную на тракторе и приводимую им в движение. Работа должна вестись плавно, без рывков, отрицательно влияющих на механизмы трактора. Для облегчения валки леса предварительно подрубают корни. Чтобы увеличить вырывающий момент, трос закрепляют на высоте 1—2 *м* от поверхности земли. Закрепление троса на высоте 2—3 *м*, выгодное с точки зрения уменьшения потребной силы тяги, возможно только для толстых деревьев, у которых не произойдет излома ствола. Валка леса с корнями легче, чем спиливание деревьев с последующей корчевкой пней. Для валки леса диаметром до 30 *см* можно применять бульдозеры. Отвал несколько приподнимают над землей и упирают в сделанную на дереве зарубку. Дерево наклоняется, а подрубленные со стороны нажима корни приподнимаются. После этого вторым заездом поддевают корни отвалом и валят дерево. При наличии в передней части трактора специальной толкающей рамы дерево валят трактором С-80 за один прием.

Валка леса взрывами. Величина заряда, количество и расположение их в значительной степени зависят от плотности почвогрунта и характера распространения корневой системы. Величину заряда и его расположение следует выбирать так, чтобы сохранить ствол в нераздробленном состоянии. Заряд располагают в центре тяжести корневой системы так, чтобы между ним и зарядом оставалась защитная подушка толщиной, равной диаметру пня. Следует иметь в виду, что радиус действия взрыва при мелких зарядах не превышает 1 *м*, вследствие чего корневая система удаляется от земли лишь частично. Взрывной способ валки является наиболее подходящим для леса с толстыми деревьями и глубоко сидящими корнями.

Валка леса спиливанием. Спиливание деревьев в лесу осуществляется преимущественно моторными и электрическими цепными пилами. В СССР

изготовляются бензиномоторные пилы ЦНИИМЭ-МАП «Дружба» и цепные электропилы ЦНИИМЭ-К5 весом соответственно 10,5 и 9,5 *кг*, с двигателями мощностью 3,2 *л. с.* и 3,18 *квт*, дающие пропил шириной 7,3—7,7 и 7,2 *мм*.

При ручном спиливании тонких деревьев применяют лучковые пилы; вручную толстые деревья спиливают двухручной поперечной пилой.

§ 2. КУСТОРЕЗ

На гидромелиоративном строительстве для расчистки территории работ от кустарника и мелколесья применяют кусторезы Д-174А, являющиеся навесным оборудованием к трактору С-80 (рис. 15).

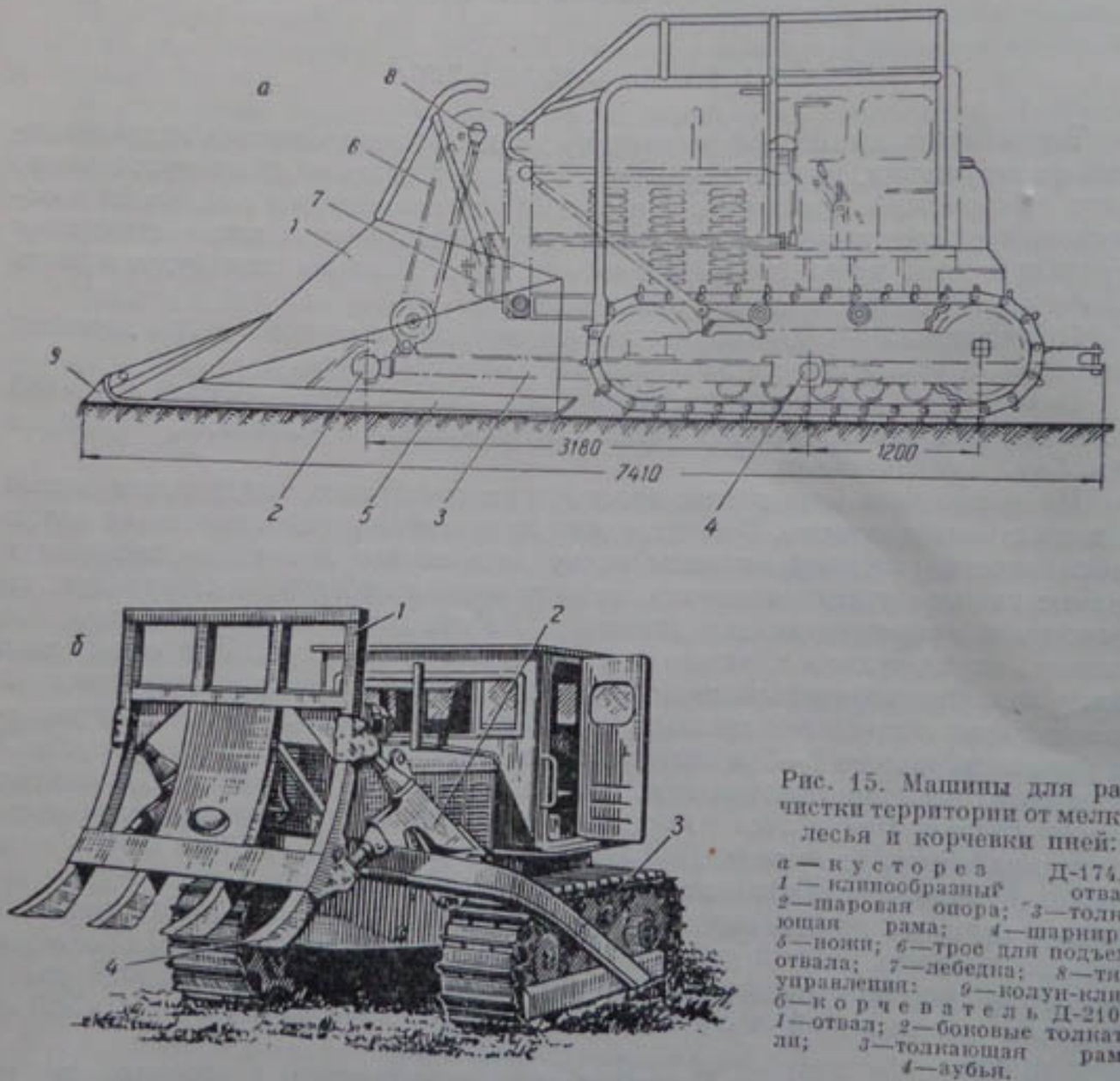


Рис. 15. Машины для расчистки территории от мелколесья и корчевки пней:
а — кусторез Д-174А: *1* — клинообразный отвал; *2* — шаровая опора; *3* — толкающая рама; *4* — шарниры; *5* — ножи; *6* — трос для подъема отвала; *7* — лебедка; *8* — тяга управления; *9* — колун-клин. *б* — корчеватель Д-210Г: *1* — отвал; *2* — боковые толкатели; *3* — толкающая рама; *4* — зубья.

При резке кустарника диаметром 7—10 *см* и плотных грунтах ножи устанавливают с просветом в 1—2 *см* над землей; при срезке мелкого кустарника диаметром 1—3 *см* ножи опускают до уровня земли. При наличии больших камней ножи во избежание поломки поднимают на 3—5 *см* над землей.

Кусторез обслуживается трактористом, а уборка срезанного материала производится 3—4 рабочими.

В настоящее время наша промышленность выпускает вместо кустореза Д-174А кусторез Д-174Б, отличающийся лишь конструкцией подъемника. У подъемника кустореза Д-174Б лебедка расположена сзади трактора. Ширина захвата кустореза 3,6 *м*; его производительность 0,8 *га/час* на I передаче трактора, 1,28 *га/час* на II и 1,82 *га/час*—на III.

§ 3. КОРЧЕВКА ПНЕЙ

Прямой тягой трактора ДТ-54 можно выкорчевать пни диаметром до 45 *см*, а тягой трактора С-80—до 25 *см*.

Тракторная корчевка с лебедкой позволяет выкорчевывать пни до 70 *см* в диаметре. Двухбарабанная лебедка Д-233 является навесным орудием к трактору С-80; ее барабаны приводятся во вращение от вала отбора мощности двигателя трактора.

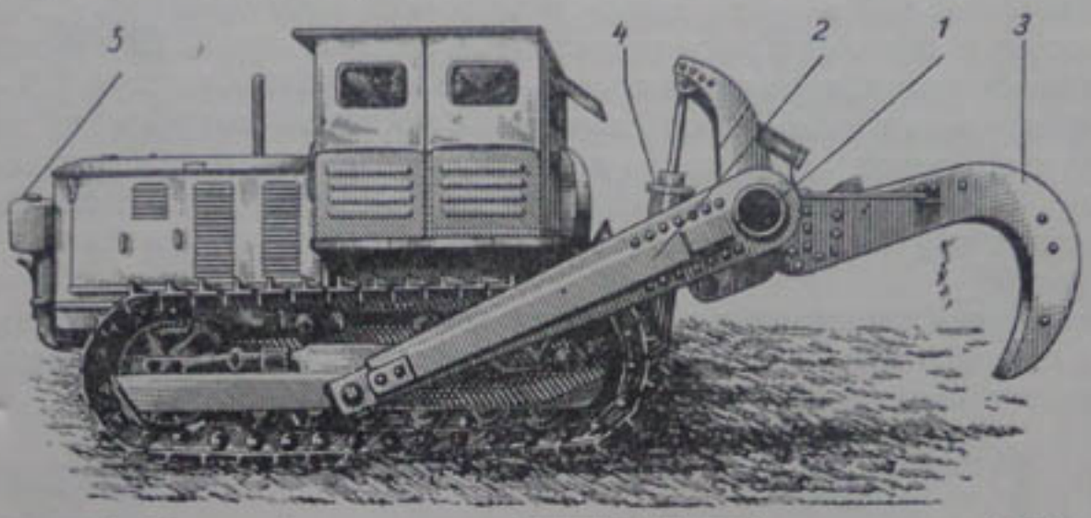


Рис. 16. Навесной корчеватель СНИИГиМ КР-6 на тракторе С-80:
1—поперечная труба; *2*—боковые брусья навесной рамы; *3*—крюк; *4*—гидравлический цилиндр; *5*—масляный насос.

Рабочий барабан предназначен для корчевки пней, их подтаскивания и трелевки хлыстов; вспомогательный барабан—для размотки каната с основного барабана и подтаскивания к корчуемым пням авторасцепок.

Управляет лебедкой тракторист; к его сиденью подведены рычаги для управления реверсивным механизмом, коробкой передач, фрикционными муфтами и тормозами.

Для работы на болотах и заболоченных землях применяется роторный корчеватель РК-1, работающий в сцепе с трактором ДТ-54 и ДТ-55. Рабочим органом корчевателя служит ротор, имеющий пять сварных зубьев серпообразной формы со вставными сошниками, закрепленными во вращающейся обойме; вал обоймы вращается в подшипниках, установленных на раме корчевателя, которая опирается на две лыжи. На раме расположен механизм управления. Ширина рабочего захвата корчевателя 3 *м*, вес 1,6 *т*, максимальное заглубление зубьев в грунт 0,3 *м*, удельное давление на грунт в рабочем положении 0,11 *кг/см*^{2}.

Кроме прицепных корчевателей, на мелиоративных стройках применяются навесные корчеватели-собиратели Д-210В к трактору С-80. Рабочий орган состоит из четырех вертикальных стоек коробчатого сечения, соединенных между собой в нижней части лобовым листом, а в верхней—двумя поперечными ребрами.

Конструкция толкающей рамы, подъемного полиспаста, кронштейна и лебедки корчевателя-собирателя такая же, как у кусторeза Д-174Б. Средняя производительность при корчевании пней диаметром 30—40 *см* составляет 45—50 пней в час.

В настоящее время вместо корчевателя-собирателя Д-210В промышленность выпускает корчеватель Д-210Г (рис. 15, *б*). Он состоит из отвала *1*, снабженного в нижней части корчующими зубьями *4*, толкающей рамы *3*, соединяющейся с отвалом шаровой головкой и двумя боковыми толкателями *2*, лебедки и подъемного устройства. Ширина захвата корчевателя Д-210Г 1,47 *м*, глубина погружения зубьев 0,4 *м*; наибольший диаметр корчуемых пней 40 *см*.

Северный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации (СНИИГиМ) сконструировал и изготовил корчеватель КР-6 на тракторе С-80,

предназначенный для корчевки пней диаметром до 70 *см* и камней объемом до 3—4 $м^3$ (рис. 16).

Корчеватель КР-6 представляет собой сменное рабочее оборудование к универсальной раме, навешиваемой на трактор С-80; корчеватель имеет рабочий орган—крюк *3*, навесную раму *2* и гидравлический подъемник, состоящий из цилиндра *4*, масляного насоса *5*, трубопроводов и рычагов управления.

Корчевка пней взрывами вполне целесообразна благодаря своей дешевизне, незначительной затрате труда и простоте оборудования. Однако при этом способе в земле остаются несрезанные мелкие корни. Под пнями закладывают наклонные шпуры диаметром 6—8 *см* на глубину, равную 1,5—2,5 диаметра пня, в зависимости от структуры корневой системы и характера почвогрунта. Расход взрывчатого вещества на 1 *см* диаметра пня составляет от 15 до 30 *г* аммонита, в зависимости от диаметра пня, породы дерева и характера грунта. Взрывание производят группами не более, чем по 12 шпуров.

Корчевание взрывами применяется для толстых пней диаметром больше 50 *см*, а также в зимнее время, так как в этих случаях тракторная корчевка делается невозможной.

§ 4. РЫХЛЕНИЕ ГРУНТОВ

Рыхление плотных грунтов уменьшает усилие, необходимое для их разработки, повышает производительность землеройных машин и снижает стоимость работ. Оно обязательно при разработке тракторными лопатами плотных грунтов III—IV категорий.

При механическом рыхлении, в зависимости от типа рыхлительных машин, происходит одновременно, частично или полностью, удаление и измельчение корней, что также повышает производительность разработки грунта.

Для рыхления можно применять тракторные плуги (одно- и многолемешные).

Стоимость рыхления зависит от характера грунта, засоренности его корнями и длины фронта работ.

Наиболее производительно и экономично применение специальных рыхлителей, обеспечивающих глубокое рыхление (до 25, а новейшими машинами до 75 *см*) и одновременно вырывание из земли корней кустарника и мелких пней.

Рыхлитель Д-162 (рис. 17) рыхлит полосу почвогрунта шириной 2,4 *м* на глубину до 0,55 *м*; его вес 4,2 *т*. Рабочим оборудованием являются пять съемных стоек *1*, снабженных на концах зубьями *2*, укрепленными в гнездах рамы *3*. Управление рыхлителем сводится к подъему и опусканию стоек вместе с рамой при помощи тросового привода от стандартной двухбарабанной лебедки Д-148, смонтированной на тракторе С-80, на прицепе у которого и работает рыхлитель. При натяжении троса *7* подъемная рама 8 рыхлителя наклоняется и толкающими штангами *9* поворачивает кривошипы, в которые заделаны полуоси колес; при этом поднимается основная рама и зубья выходят из грунта.

Заглубление зубьев производится ослаблением троса, после чего рама опускается под действием собственного веса, а зубья погружаются в грунт. Рыхлитель устанавливается в транспортное положение (при ослабленном тросе) стойкой *12*, прикрепленной к основной раме. При транспортировке на ступицы надевают автомобильные диски с пневматикой; рыхлитель прицепляют к автомашине и перевозят на новое место работ. В транспортном положении дорожный просвет составляет 300—350 *мм*.

Рыхлитель Д-162 предназначен для разрыхления тяжелых грунтов, расчистки местности от кустарника, мелких пней, корней и камней, а также для разламывания дорожных покрытий.

Для рыхления грунтов могут применяться корчеватели-собиратели. Зубья их заглубляются в грунт под действием веса отвала; при движении трактора зубья рыхлят грунт, вытаскивая при этом корни.

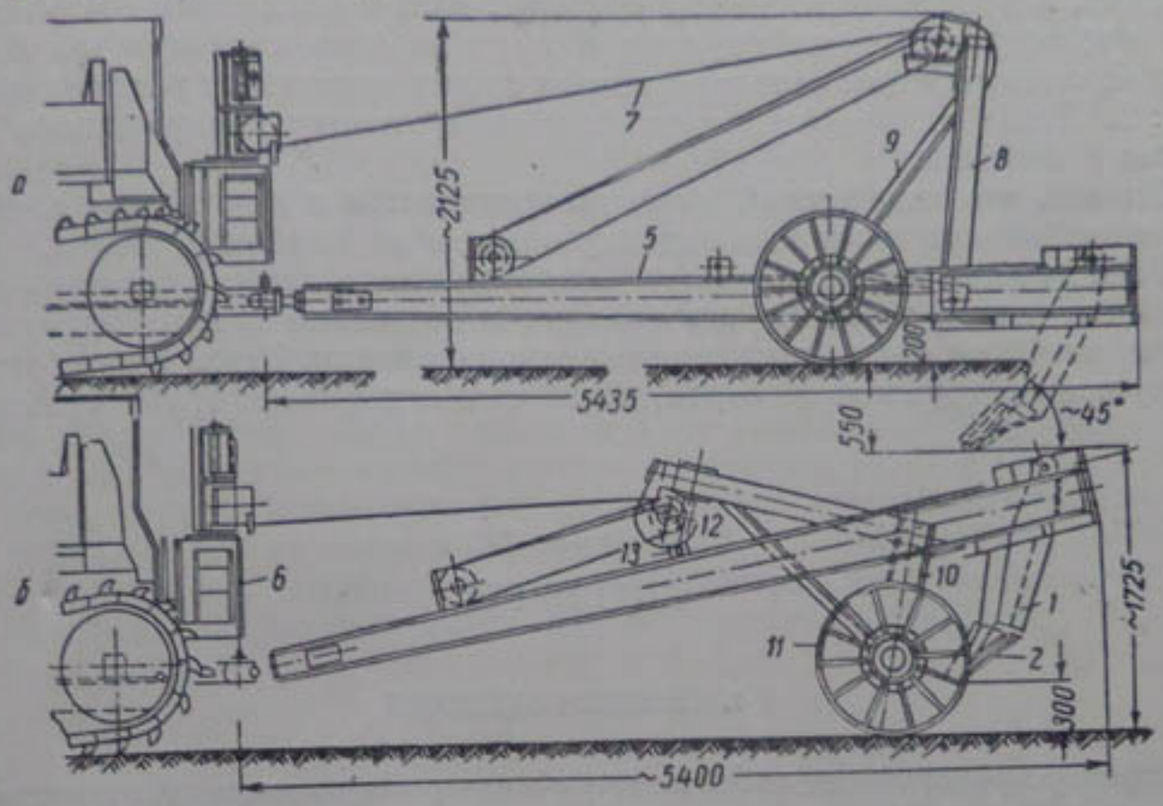


Рис. 17. Рыхлитель Д-162:

а—рабочее положение; *б*—транспортное положение: *1*—стойка; *2*—зуб; *3*—коробчатое гнездо; *4*—чека; *5*—рама; *6*—приводная лебедка; *7*—трос; *8*—подъемная рама; *9*—толкающая штанга; *10*—приводной колеса; *11*—сварное колесо; *12*—замковая стойка; *13*—болт.

Производительность машин при рыхлении зависит от длины фронта работ (влияние поворотов). Радиус поворота трактора вместе с рыхлителем составляет 5 *м*; на поворот требуется 1 минута. Так как глубина резервов или выемок значительно больше глубины рыхления, то рыхлить приходится несколько раз в одном и том же месте. Рыхление должно быть увязано с разработкой грунта и отражено в проектах организации работ.

§ 5. ЗАГЛУШКА КЛЮЧЕЙ

Нередко бывает, что после вскрытия котлована до проектной отметки обнаруживаются выходы грунтовых вод в виде ключей. Оставление ключей под сооружениями запрещается, поэтому необходимо либо заглушить ключи, либо отвести их за пределы сооружения.

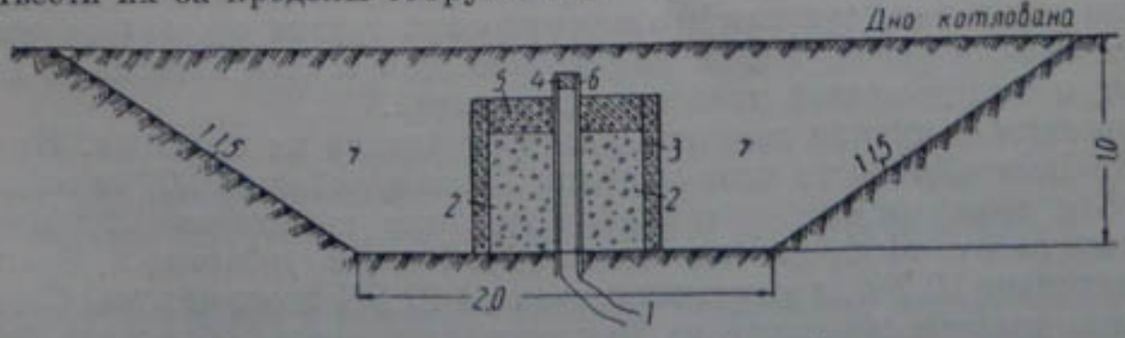


Рис. 18. Заглушка ключей (разрез):

1—выход ключа; *2*—мелкий гравий; *3*—бетонное кольцо; *4*—деревянная пробка; *5*—цементный раствор; *6*—железная труба; *7*—забивка водонепроницаемым грунтом.

Если ключ имеет небольшой дебит и бьет из-под водоупорного пласта, то его заглушают. Ключи с относительно большим напором заделывают следующим способом (рис. 18). Вокруг ключа вырывают яму 2×2 *м*, глуби-

ной 1 *м*; в нее ставят бетонное кольцо или бездонный дощатый ящик размером 0,75×0,75×0,75 *м*. В ключ вставляют трубу диаметром 100÷150 *мм*, а ящик вокруг трубы заполняют гравием на три четверти высоты. Воду откачивают из ключа, а пространство между откосами ямы и бездонным ящиком забивают водонепроницаемым грунтом или глинобетоном слоями по 0,15 *м*. Затем бездонный ящик заливают поверх камня цементным раствором состава 1 : 2. После затвердения цементного слоя откачку прекращают и трубу забивают пробкой.

Бывает, что заделанный ключ выклинивается в другом месте. В этом случае необходимо повторить заделку в новом месте выхода ключа.

Если заделка ключа не удается или если напор ключа чрезмерно велик, расчищают ключ, забивают его гравием и вставляют в него трубу такой высоты, чтобы из нее не происходило самоизливания. Затем ведут бетонную кладку вокруг трубы до ее верха, после чего заделывают трубу пробкой.

Глава IV

СКРЕПЕРЫ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Скрепер представляет собой мощную землеройную машину, отличающуюся простотой конструкции и высокой производительностью. Он не только срезает грунт, но и транспортирует, укладывает, разравнивает и частично уплотняет его.

Скреперами можно разрабатывать грунты первых четырех категорий; грунты III и IV категорий нужно предварительно рыхлить.

Так как подъемы дорог для скреперов не должны превышать 0,08—0,10, то они пригодны для разработки неглубоких выемок, котлованов и резервов с небольшой дальностью возки—до 200—300 *м*. Срезаемый скреперами грунт может быть разгружен тонкими слоями в соответствии с требованием уплотнения.

Наша промышленность выпускает скреперы высокой производительности, на баллонах, с ковшами от 1,5 до 15 $м^3$.

Емкость ковша скреперов связана с мощностью трактора. Трактор С-80 мощностью 93 *л. с.* может обслуживать скреперы с ковшами емкостью до 8 $м^3$; для ковшей большей емкости должны применяться более мощные тракторы или дополнительные толкачи.

Повышение производительности и снижение стоимости работы скреперов связано не только с увеличением емкости ковша, но и с повышением скорости движения, так как транспортировка грунта составляет основную часть стоимости работ. Успешное решение этой задачи зависит от выпуска мощных и быстроходных тракторов и тягачей.

Скреперы получили широкое распространение на стройках. На строительстве Волго-Донского канала имени Ленина работало 907 скреперов, из них 738 с ковшами емкостью 6 $м^3$. Ими было выполнено 26,6% объема земляных работ, тогда как экскаваторами было выработано в отвал 9,2% и на транспорт 20,2%, а гидромеханизацией 22,5% этого объема. Столь значительное участие скреперов на Волгодонстрое можно объяснить большим числом объектов с короткой дальностью возки (порядка 100—200—300 *м*). При этих условиях скреперы работают с высокой производительностью. При увеличении дальности возки $L_{дал}$ производительность скреперов резко снижается, а стоимость разработки и транспортировки грунта быстро увеличивается. Причина этого—в весьма низкой стоимости разработки грунта скреперами и дороговизне его транспортировки. Однако при применении бункерно-транспортерной схемы организации работ скреперы могут успешно

и экономично работать при практически любой дальности возки и успешно конкурировать с экскаваторами, работающими с погрузкой на транспорт.

По данным проф. Н. Г. Домбровского[1], работа скреперов в однородных грунтах естественной влажности I, II, реже III категории, при перемещении грунта под уклон или по горизонтали на расстоянии 250—1000 *м* всегда выгоднее работы экскаваторов на автотранспорт и даже выгоднее работы драглайнов в отвал, если емкость ковша скрепера превышает более чем в 10 раз емкость ковша драглайна со стандартной стрелой.

Наша промышленность изготовляет скреперы разных типов:

1) прицепные с гидравлическим управлением двухосные Д-354 с ковшом 2,75 $м^3$, Д-373—с двумя ковшами по 2,75 $м^3$ и Д-372—одноосные на двух колесах с ковшом емкостью 2,75 $м^3$.

2) прицепные с канатно-блочным управлением Д-217 одноосные с ковшом 1,5 $м^3$; двухосные Д-374 с ковшом 8 $м^3$, Д-213 с ковшом 10 $м^3$, Д-188 с ковшом 15 $м^3$ и Д-189—полуприцепные седельные с ковшом 15 $м^3$.

Кроме того, на мелиоративных стройках используются прицепные скреперы Д-230 и Д-183Б с ковшом 2,25 $м^3$, Д-183В с двумя ковшами по 2,25 $м^3$, Д-222 с ковшом 6 $м^3$ и другие прицепные скреперы, в настоящее время снятые с производства. Опишем некоторые конструкции скреперов.

§ 2. СКРЕПЕР Д-222

Скрепер Д-222 с ковшом емкостью 6 $м^3$ (рис. 19) имеет принудительную разгрузку ковша, осуществляемую передвижением вперед задней стенки.

Ковш *1* состоит из боковых стенок, поворотного днища, изготовленного как одно целое с задней стенкой *2*, и имеет впереди заслонку *3*. Боковые стенки в задней части связаны поперечной стенкой, к которой приварено буферное устройство; к боковым стенкам прикреплены оттяжные пружины днища ковша.

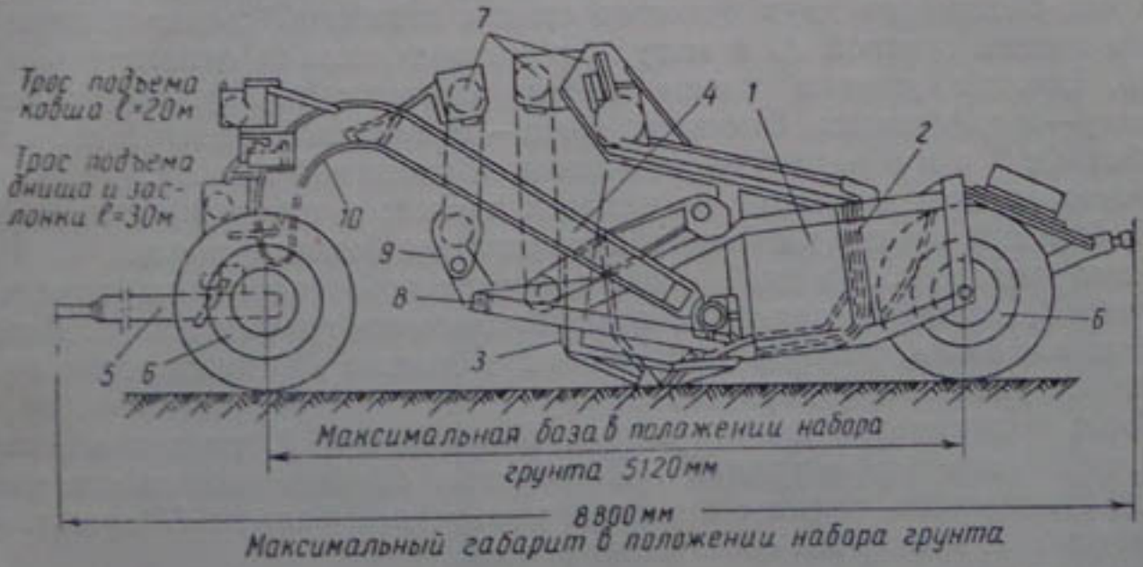


Рис. 19. Скрепер Д-222 с ковшом емкостью 6 $м^3$:

1—ковш; *2*—задняя передвижная стенка ковша; *3*—передняя заслонка; *4*—П-образная арка; *5*—дышло; *6*—колесо; *7*—канатно-блочное управление; *8*—поперечная балка; *9*—нижняя обойма полиспаста ковша; *10*—хоботообразный передок.

В передней части с ковшом соединена поперечная балка *8*, на которой шарнирно укреплена нижняя обойма *9* полиспаста ковша. Ковш подвешен к П-образной арке *4*, соединенной с хоботообразным передком *10*, опирающимся на переднюю ось. Внизу ковша в передней его части приварена подножная плита, к которой прикреплены два средних и два крайних ножа; для умень-

[1] Н. Г. Домбровский. Повышение производительности одноковшовых экскаваторов. М., Стройиздат, 1951.

шения сопротивления резанию средние ножи несколько выступают вперед. К передним граням боковых стенок ковша, в нижней их части, прикреплены на болтах боковые ножи.

Скрепер Д-222 работает на прицепе трактора С-80.

§ 3. СКРЕПЕР Д-374

Скрепер Д-374 с ковшом емкостью 8 $м^3$ (рис. 20) выпускается промышленностью взамен скреперов Д-147 и Д-222; его основные отличия заключаются в устройстве механизма автоматического подъема заслонки, днища и в системе канатного управления. В отличие от скреперов Д-147 и Д-222, где заслонка поднимается на нужную высоту трактористом при помощи лебедки, в скрепере Д-374 эта операция производится автоматически при помощи каната *9*, который одним концом закреплен на заслонке *15*, а другим—на передней связи ковша. Канат огибает блок, смонтированный в обойме *8*, приваренной к поперечине передка *6*. При спуске ковша для загрузки канат *9* перетягивается по блоку обоймы *8* и автоматически поднимает заслонку. Заслонка может быть поднята и трактористом при помощи лебедки и каната *11*. Задняя стенка наклонена назад для увеличения емкости ковша и сварена с днищем в один узел. Днище вывешено на шарнирах *11*, расположенных на боковых стенках ковша и выше подножевой плиты *14*, вследствие чего при опрокинутом положении днища образуется зев между его кромкой и подножевой плитой, что обеспечивает полную разгрузку ковша. Выгруженный грунт разравнивается ножами ковша и кромкой опрокинутого днища.

Скрепер работает в сцепе с трактором С-80.

§ 4. БОЛЬШЕГРУЗНЫЕ СКРЕПЕРЫ Д-213, Д-188, Д-189

Скреперы Д-213 с ковшом емкостью 10 $м^3$ (рис. 21) по кинематической схеме и компоновке отдельных узлов сходны со скрепером Д-222.

Ковш состоит из двух боковых стенок и днища, составляющего одно целое с задней стенкой *12* и могущего поворачиваться относительно своей оси *15*. Боковые стенки ковша жестко связаны между собой: спереди и сверху—поперечными балками, сзади—поперечной стенкой с буферным устройством *2*, а в передней части—литой подножевой плитой.

Основной нож *4* состоит из четырех частей; к нижней части передних граней боковых стенок на болтах прикреплены боковые ножи.

Ковш связан с передней осью скрепера хоботообразным передком *14* с вилками *6*, шарнирно прикрепленными к боковым граням ковша. Передняя заслонка ковша *8а*, ходовое устройство *9* и дышло *10* однотипны с соответствующими узлами скрепера Д-147.

Ковш поднимается шестикратным полиспастом *7*, расположенным на поперечной балке вилки передка. Подвижные обоймы полиспаста связаны через направляющие блоки с передней поперечной балкой *11* ковша. Ковш опускается под действием собственного веса.

Передняя заслонка и днище ковша поднимаются двумя полиспастами, сблокированными между собой. Подвижная обойма первого полиспаста шарнирно прикреплена к передней заслонке, а неподвижная—в центре верхней поперечной балки ковша.

Обе подвижные обоймы второго полиспаста, расположенного также вдоль верхней балки ковша, соединены канатами и кронштейнами, приваренными к верхнему ребру задней стенки.

Возврат поднятого днища производится оттяжной пружиной *13*, прикрепленной одним концом к кронштейну днища, а другим—к кронштейну буферного устройства. Скрепер Д-213 работает в сцепе с трактором С-80 и с толкачом при загрузке. Ширина резания 2,83 *м*, наибольшая глубина резания 0,30 *м*, наибольшая толщина разгрузки 0,40 *м*, радиус поворота 6 *м*, вес 8,5 *т*.

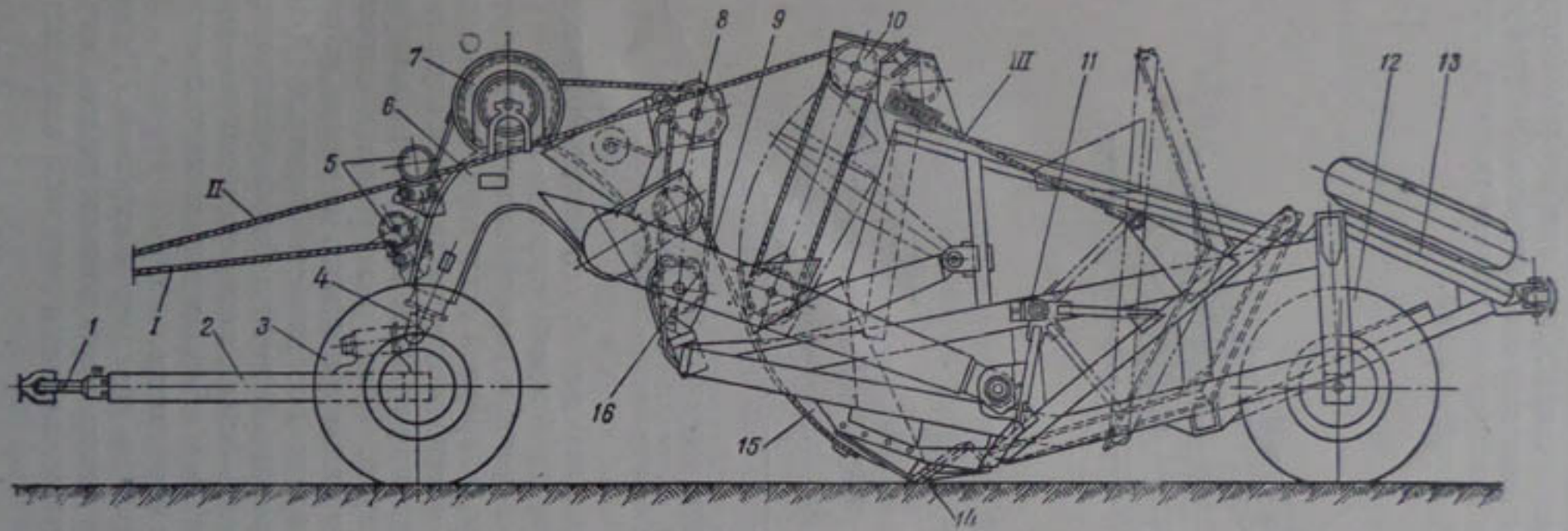


Рис. 20. Скрепер Д-374 с ковшом емкостью 8 $м^3$:
I—канат ковша; *II*—канат заслонки и днища; *III*—ведущие канаты днища. *1*—сценной шкворень; *2*—дышло; *3*—переднее колесо; *4*—универсальный шкворень; *5*—флюгерные блоки; *6*—передок; *7*—ступенчатый барабан; *8*—обойма блока автоматического подъема заслонки; *9*—канат автоматического подъема заслонки; *10*—верхняя обойма полиспаста подъема заслонки; *11*—шарнир днища; *12*—заднее колесо; *13*—буфер; *14*—подножевая плита и ножи; *15*—заслонка; *16*—нижняя обойма полиспаста заслонки.

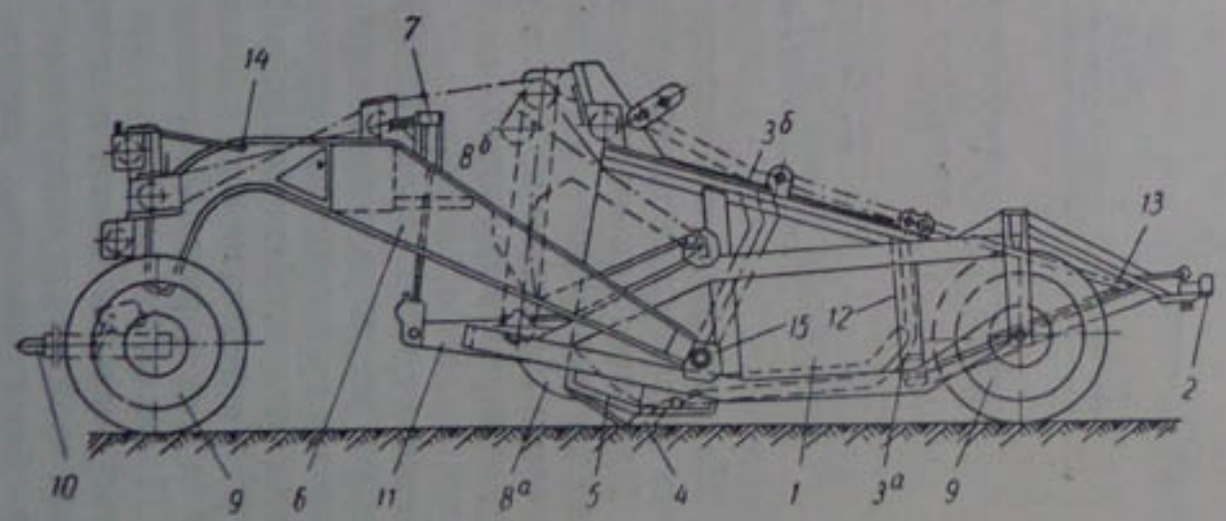


Рис. 21. Скрепер Д-213 с ковшом емкостью 10 $м^3$:
1—ковш; *2*—буфер; *3а*—днище ковша при наборе; *3б*—днище ковша при разгрузке; *4*—основной нож; *5*—боковой нож; *6*—вилка передка; *7*—полиспаст подъема ковша; *8а*—передняя заслонка при наборе; *8б*—передняя заслонка при разгрузке; *9*—колесо; *10*—дышло; *11*—передняя балка ковша; *12*—задняя стенка ковша; *13*—оттяжная пружина; *14*—хоботообразный передок; *15*—ось днища.

Скрепер Д-188 с ковшом емкостью 15 $м^3$ (рис. 22, *а*) предназначен для работы с тягачом мощностью 250 *л. с.* или с двумя тракторами Т-140.

Ковш *1* состоит из двух боковых стенок, соединенных поперечными связями, днища *3* и задней стенки, изготовленных как одно целое.

Спереди ковш закрывается заслонкой *2*, щит которой подвешен на шарнирах в опорах боковых стенок. Заслонка—неплавающего типа, поэтому подъем ее подпором срезаемого грунта невозможен. Этот тип заслонки наилучшим образом обеспечивает открытие ковша при его загрузке, но требует большого внимания от оператора. Ковш снабжен основными ножами, прикрепленными к подножевой плите, и боковыми ножами.

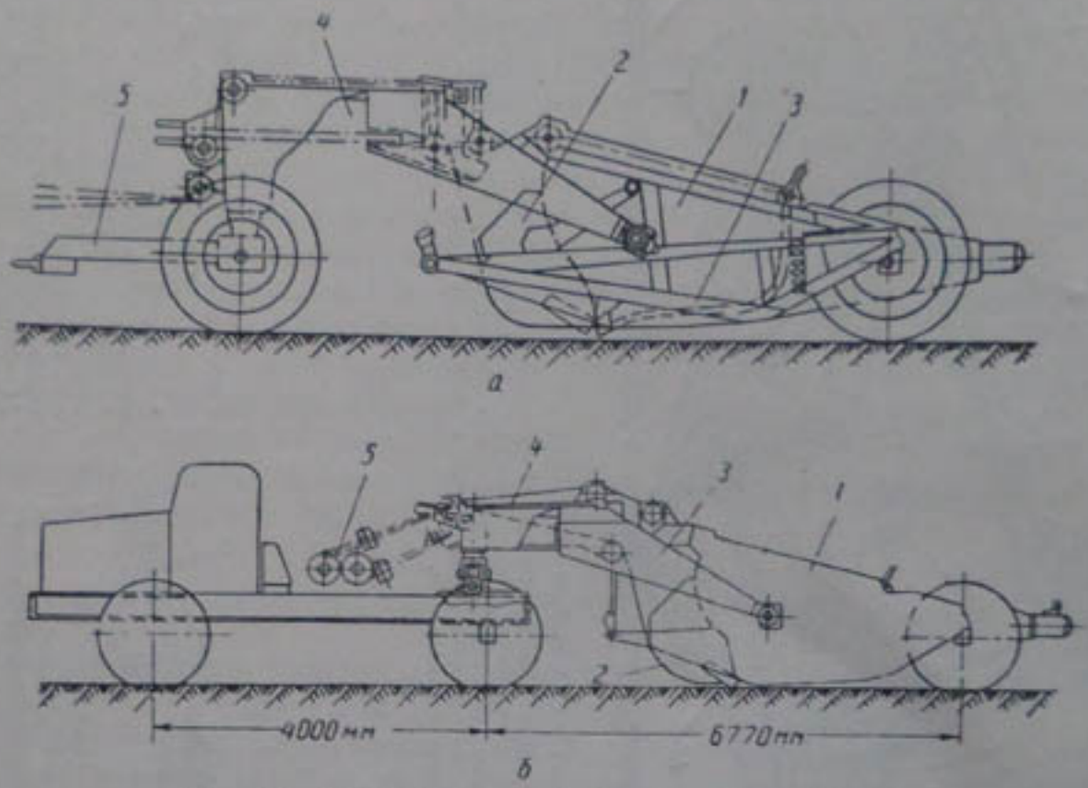


Рис. 22. Скреперы с ковшом емкостью 15 $м^3$:
а—двухосный скрепер Д-188; *б*—одноосный скрепер Д-189. *1*—ковш; *2*—передняя заслонка; *3*—днище ковша; *4*—передок; *5*—дышло.

На переднюю ось скрепера опирается передок *4*; его вилки соединены двумя упряжными шарнирами и опорами на боковых стенках ковша.

Передняя ось скрепера скреплена с передком горизонтальным и вертикальным шкворнями, а дышло *5* соединено с передней осью горизонтальными тяговыми шарнирами. Такое устройство обеспечивает трехплоскостную свободу поворотов передней оси, необходимую при проходе закруглений, неровностей рельефа, поперечных уклонов пути. Ковш разгружается опрокидыванием днища с задней стенкой вокруг цилиндрического шарнира, укрепленного на подножевой плите. Характерная особенность скрепера Д-188 состоит в трехканатном управлении от трехбарабанной лебедки, установленной на тягаче. Каждый из рабочих органов—ковш, заслонка и днище—приводятся в действие отдельными канатами, чем обеспечивается наиболее четкая работа передней заслонки, ковша и его днища.

Полиспасты всей системы расположены на передаче *4* скрепера. Полиспасты подъема ковша и опрокидывания днища расположены рядом, вдоль поперечной связи вилки передка, а полиспаст подъема передней заслонки—вдоль балки передка, внутри ее.

Скрепер Д-189 седельного типа с ковшом емкостью 15 $м^3$ (рис. 22, *б*) представляет собой одноосную модификацию скрепера Д-188 и отличается от него отсутствием передней оси с дышлом и конструкцией передка, шарнирно установленного на раме автомобильного тягача над его задним мостом.

Скрепер работает с тягачом МАЗ-525Д, имеет высокие транспортные скорости (до 20 *км/час*) и может отвозить грунт на большие расстояния.

Управление лебедкой — пневматическое. Ширина резания скреперов Д-188 и Д-189 3,12—3,10 *м*, наибольшая глубина резания 0,30 *м*, наибольшая толщина разгрузки 0,40 *м*, радиус поворота 7 *м*, вес 15,8 *т*.

Нашей промышленностью освоено производство самоходных скреперов Д-357 с ковшом емкостью 10—12 $м^3$ на колесном тягаче с двигателем 165 *л. с.*; эта конструкция удостоена почетного диплома на Всемирной выставке в Брюсселе в 1958 г. Осваиваются также самоходные скреперы Д-468 с ковшом емкостью 4,5—5,5 $м^3$ на базе одноосного тягача МАЗ-533.

§ 5. РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Производительность скрепера (в $м^3$) за 8-часовую смену может быть вычислена по формуле:

$$П = \frac{480 K_{вр}}{T_ц} V K_{нап} K_{разр}. \qquad (27)$$

Так как

$$T_ц = t_{наб} + t_{гр} + t_{разгр} + t_{пор} + t_{перекл},$$

то

$$П = \frac{480 K_{вр}}{t_{наб} + t_{гр} + t_{разгр} + t_{пор} + t_{перекл}} V K_{нап} K_{разр}, \qquad (27а)$$

где V — геометрический объем ковша скрепера в $м^3$;

$K_{вр}$ — коэффициент использования скрепера во времени в течение смены;

$K_{нап}$ и $K_{разр}$ — коэффициенты наполнения и разрыхления;

480 — время смены в минутах;

$T_ц$ — время одного цикла скрепера в *мин*;

$t_{наб}$ — время набора в *мин*;

$t_{гр}$ — время груженого хода в *мин*;

$t_{разгр}$ — время разгрузки в *мин*;

$t_{пор}$ — время порожнего хода в *мин*;

$t_{перекл}$ — время переключения трактора в *мин*.

Время набора, груженого хода, разгрузки и порожнего хода определяем по формулам:

$$t_{наб} = \frac{L_{наб}}{v_{наб}}; \quad t_{гр} = \frac{L_{гр}}{v_{гр}}; \quad t_{разгр} = \frac{L_{разгр}}{v_{разгр}}; \quad t_{пор} = \frac{L_{пор}}{v_{пор}}.$$

Из формул (27) и (27а) видно, что для повышения производительности скреперов при разработке грунта данной категории при данной дальности возки необходимо:

а) добиваться максимального использования скрепера во времени — $K_{вр}$;

б) обеспечить минимальное значение $T_ц$, для чего следует работать с максимально допустимыми скоростями, а значения $L_{наб}$, $L_{гр}$ и $L_{разгр}$, на длине которых трактор двигается на I — II — III скоростях, сокращать до необходимого минимума; за счет этого повысить длину порожнего хода $L_{пор}$, которую скрепер может проходить на более высокой скорости движения — IV или даже V;

в) поддерживать пути, по которым передвигается скрепер, в исправном состоянии, так как от этого зависит скорость его движения;

г) работать с возможно бо́льшим коэффициентом наполнения ковша $K_{нап}$, так как с увеличением $K_{нап}$ возрастает объем грунта, перевозимого скрепером за каждый рейс, что удешевляет стоимость его транспортировки;

д) работать с минимальным числом переключений.

Кроме перечисленных условий, для повышения производительности скреперов необходимо своевременно их ремонтировать, повышать квалификацию трактористов и обосновать расчетами проект организации работ.

Стоимость c разработки грунта определяется по формуле:

$$c = \frac{c_{\text{маш. см}}}{П}, \tag{28}$$

где $c_{\text{маш. см}}$ — стоимость машино-смены агрегата—трактора и скрепера.

Для повышения производительности скреперов и снижения стоимости их работы нужно знать стоимость отдельных операций.

Воспользуемся для этого формулой, в которой стоимость отнесена к 1 $м^3$ грунта:

$$c = c_{\text{наб}} + c_{\text{тр}} + c_{\text{разгр}} + c_{\text{перекл}}, \tag{29}$$

где c — полная стоимость разработки;

$c_{\text{наб}}$ — стоимость набора;

$c_{\text{тр}}$ — стоимость транспортировки;

$c_{\text{разгр}}$ — стоимость разгрузки;

$c_{\text{перекл}}$ — стоимость переключений.

Элементные стоимости работ определяем пропорционально времени, затрачиваемому на отдельные операции:

$$\left.\begin{aligned} c_{\text{наб}} &= c\frac{t_{\text{наб}}}{T_{\text{ц}}};\ c_{\text{тр}} = c\frac{t_{\text{тр}}}{T_{\text{ц}}} \\ c_{\text{разгр}} &= c\frac{t_{\text{разгр}}}{T_{\text{ц}}};\ c_{\text{перекл}} = c\frac{t_{\text{перекл}}}{T_{\text{ц}}} \end{aligned}\right\} \tag{30}$$

где $t_{\text{наб}}$, $t_{\text{тр}}$, $t_{\text{разгр}}$, $t_{\text{перекл}}$ — время набора, транспортировки, разгрузки и переключений;

$T_{\text{ц}}$ — время цикла.

На основе анализа работы скреперов можно сделать следующие выводы:

а) работа скреперов характеризуется исключительно низкой стоимостью разработки грунта и очень высокой стоимостью его транспортировки;

б) наибольшая производительность скреперов и наибольшая дешевизна их работы достигаются при возможно меньшей дальности возки $L_{\text{дал}}$. Последняя оказывает решающее влияние на производительность работы скреперов при прочих равных условиях. В связи с этим при проектировании организации работ нужно в первую очередь обращать внимание на сокращение дальности возки до минимума $L_{\text{дал. мин}}$;

в) при поперечном транспортировании грунта элементы схемы работ подбирают по расчету таким образом, чтобы обеспечить наименьшую длину кольца, по которому движется скрепер;

г) при продольной возке, когда расстояние между местом разработки грунта и местом его разгрузки значительно, целесообразно переходить к бункерно-транспортерной схеме. Сущность этой схемы заключается в том, что скрепер после разработки грунта разгружает его в бункер, а дальнейшая транспортировка производится ленточным транспортером. В бункерно-транспортерной схеме сочетаются наиболее дешевое резание грунта скрепером и наиболее дешевая транспортировка его ленточным транспортером.

§ 6. СХЕМЫ ДВИЖЕНИЯ СКРЕПЕРОВ

Скреперы широко применяются в строительстве, и технико-экономические показатели их работы выше, чем, например, у экскаваторов. Поэтому скреперы с полным основанием можно считать одной из основных машин для производства земляных работ.

Эффективность скреперов зависит от схемы организации работ. Простейшая и давно применяемая схема—эллиптическая— предусматривает движение по замкнутому кольцу, вытянутому вдоль канала (рис. 23, *а*).

В начальный период строительства Волго-Донского канала эллиптическая схема широко применялась на выемках глубиной не более 1,5 м с отвоз-

кой грунта как в кавальеры, так и в дамбы, при разработке зубьев плотин, отсыпке дамб из резервов, засыпке пазух шлюзов.

На Волго-Донском соединительном канале при разработке выемок глубиной 4—6 *м* с отсыпкой грунта в дамбы применялась видоизменная эллиптическая схема (рис. 23, *б*) с выездами-съездами, расположенными не перпендикулярно к оси канала, а под углом к нему.

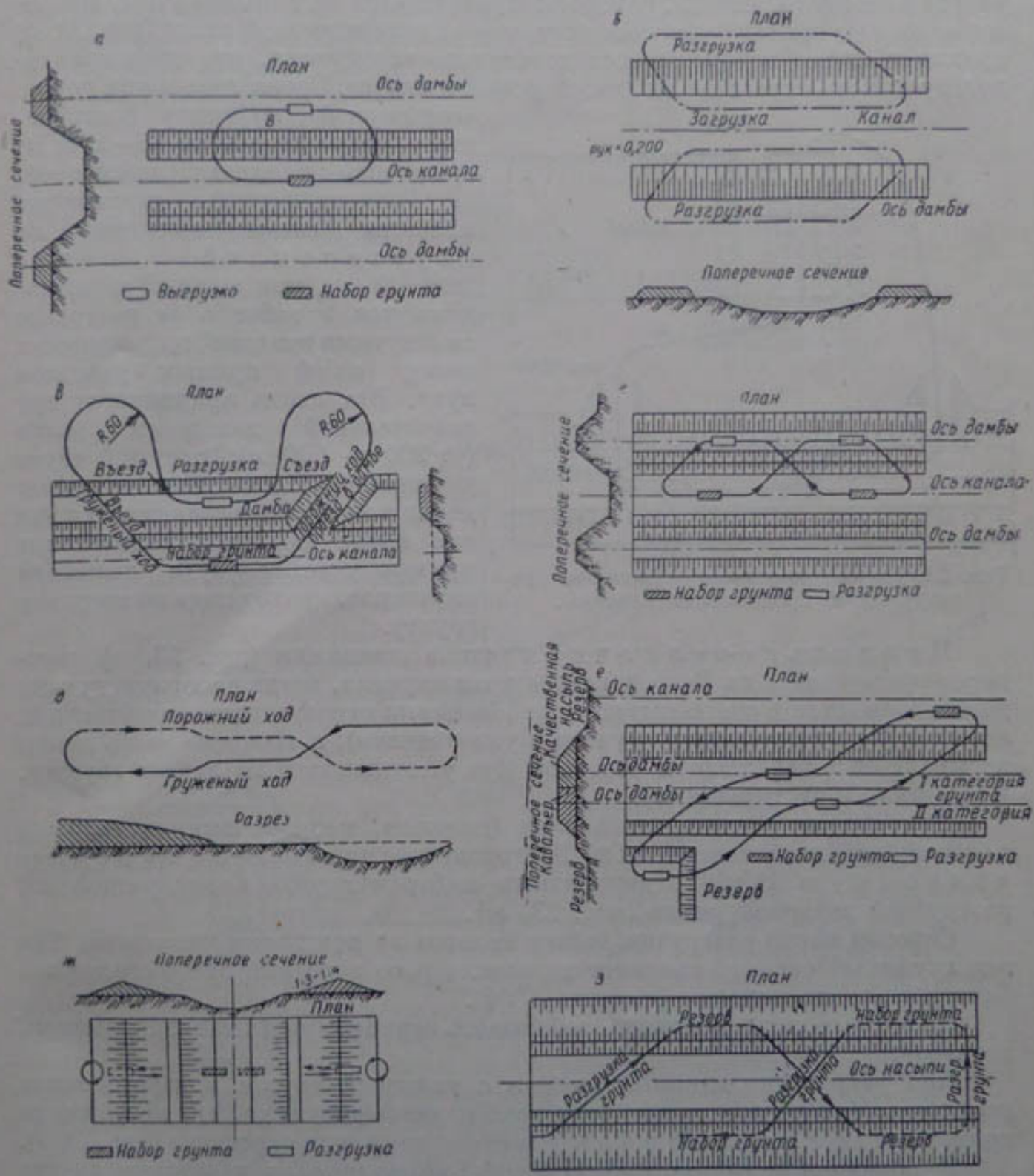


Рис. 23. Схемы движения скреперов:

а—эллиптическая; *б*—эллиптическая видоизмененная; *в*—подковообразная; *г*—по восьмерке; *д*—по двусторонней петле; *е*—продольно-челночная; *ж*—поперечно-челночная; *з*—зигзагообразная.

Недостаток этой схемы состоит в излишне большой длине отдельных участков, на которые разбит канал (150—200 *м*), что увеличивает дальность возки, уменьшает производительность скреперов и увеличивает стоимость работ.

При разработке узких каналов и выемок по эллиптической схеме не хватает места для кольцевых поворотов; в этих случаях применяют видо-

измененную эллиптическую схему по подковообразной кривой (рис. 23, *в*).

Широко распространена схема движения по восьмерке (рис. 23, *г*), вытеснившая впоследствии на строительстве Волго-Донского канала эллиптическую схему.

При работе по схеме «восьмерки» путь груженого скрепера плавно вписывается в габариты канала, повороты производятся на меньшие углы, выезды и съезды получаются более пологими, чем на эллиптической схеме (рис. 23, *а*), правые и левые повороты последовательно чередуются, что предохраняет ходовую часть агрегатов от одностороннего износа. Время цикла при работе «восьмеркой», по опыту Волгодонстроя, сокращалось на 15—20% по сравнению с эллиптической схемой.

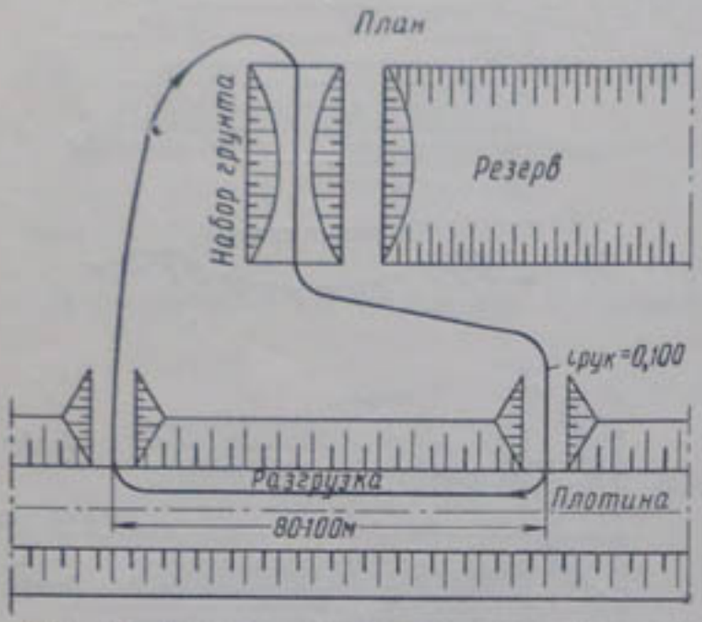


Рис. 24. Схема движения скреперов на сооружении Цимлянской плотины.

Разновидностью «восьмерки» является схема движения по двусторонней петле (рис. 23, *д*), при которой скреперы движутся в забое и на разгрузке замкнутыми петлями, соединенными между собой прямым участком пути. Эта схема применяется при значительной дальности возки (от 200 до 500 *м*); при этой схеме упрощается содержание грунтовых дорог в хорошем состоянии, так как они имеют общие соединительные прямые участки пути движения скреперов, проходящие по твердому грунту.

Продольно-челночная схема движения (рис. 23, *е*) скреперов применялась на Волгодонстрое в тех случаях, когда напорную призму дамбы возводили в соответствии с требованиями строительства качественных насыпей (из качественных грунтов с уплотнением), а тыловую часть дамбы насыпали как кавальер из резервов (без уплотнения и из любых грунтов, в том числе и растительных).

При снятии растительного слоя (плотины, каналы, выемки, карьер) с отвозкой грунта в кавальеры на Волгодонстрое применяли поперечно-челночную схему с двукратным набором грунта и двукратной его разгрузкой за время цикла (рис. 23, *ж*).

Скрепер после разгрузки делает поворот за пределами кавальера. Так как груженый скрепер въезжает на кавальер, то передний откос его должен быть достаточно пологим (порядка 1 : 4).

По этой же схеме можно разрабатывать верхнюю часть каналов, выемок, карьеров.

При разработке длинных выемок с укладкой грунта в двусторонние кавальеры (дамбы) или при отсыпке дамб каналов значительного протяжения применяют зигзагообразную схему движения скреперов (рис. 23, *з*).

В зависимости от местных условий применяются и некоторые другие разновидности указанных схем.

На строительстве Цимлянской земляной плотины высотой 7—12 *м* применялась видоизмененная эллиптическая схема (рис. 24). Резервы закладывались на пойме параллельно плотине, въезды в грузовом направлении устраивались через 80—100 *м*, руководящий подъем их составлял $i=0{,}100$.

При заложении резервов на береговых склонах может быть применена схема с расположением двусторонних резервов по продолжению оси плотины (рис. 25, *а*), параллельно (рис. 25, *б*) или перпендикулярно ей (рис. 25, *в*).

Достоинства этих схем состоят в следующем: грунт набирается при движении под уклон, что сокращает время и длину набора; груженый ход выпол-

няется также при движении под уклон, благодаря чему скреперы могут передвигаться с более высокими скоростями; требуется минимальное количество поворотов; повороты производятся при движении на порожнем ходе, что уменьшает затраты времени.

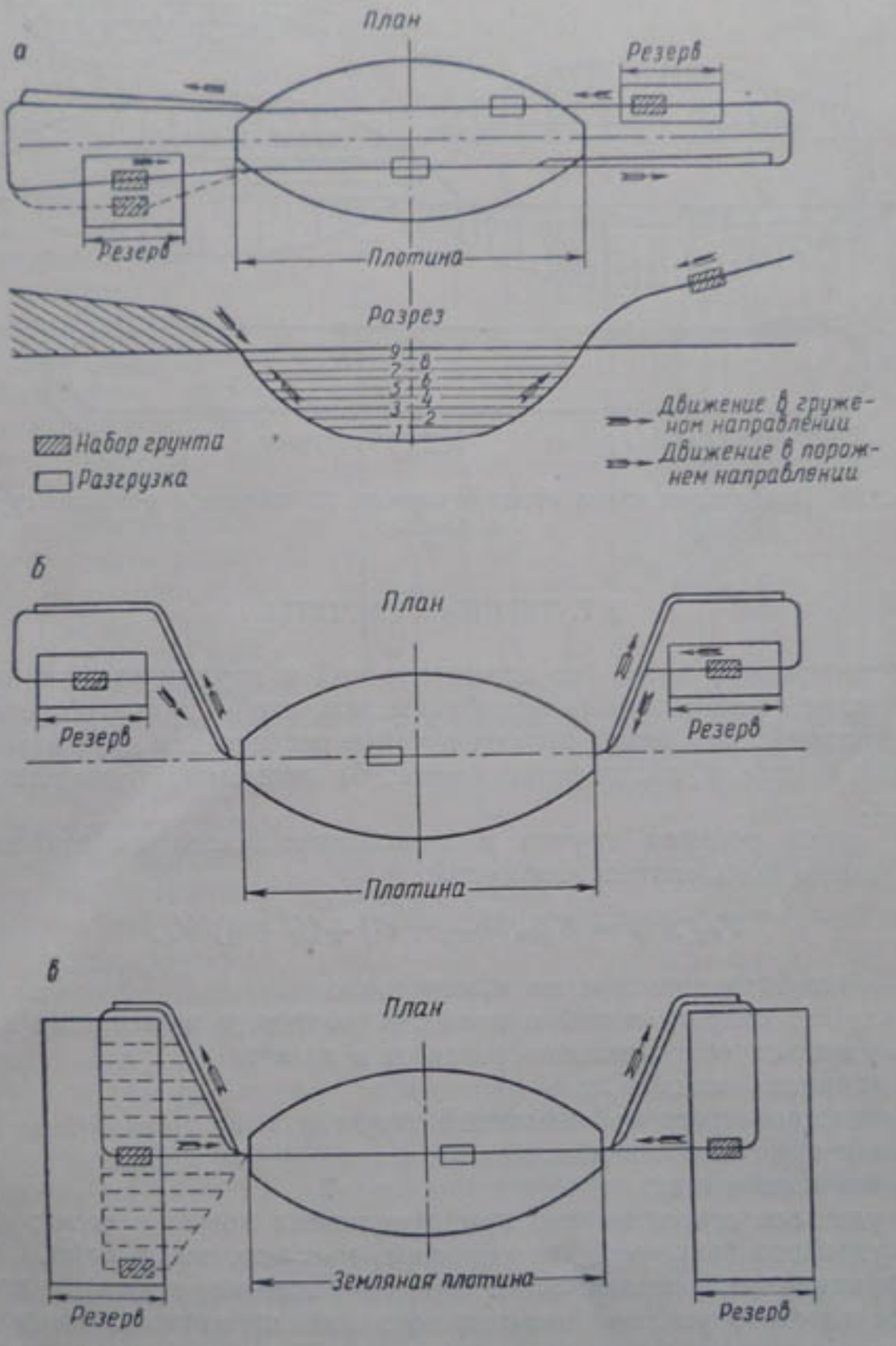


Рис. 25. Схемы возведения земляной плотины из двухсторонних резервов:

а—длинная ось совпадает с осью плотины; *б*—длинная ось параллельна оси плотины; *в*—длинная ось перпендикулярна оси плотины.

Как видно из рассмотренных схем, движение скреперов может быть разделено на две основные группы: с поперечной и продольной отвозкой. При поперечной отвозке (схемы: эллиптическая, «восьмерка», поперечно-челночная, зигзагообразная) скрепер отвозит грунт в направлении, перпендикулярном к разрабатываемой выемке, или под углом к ней, а при продольной—параллельно ей (схемы: продольно-челночная, двойная петля, из двусторонних резервов). К продольной возке относится также схема разработки выемок и каналов с отвозкой грунта в прилегающие дамбы (рис. 26).

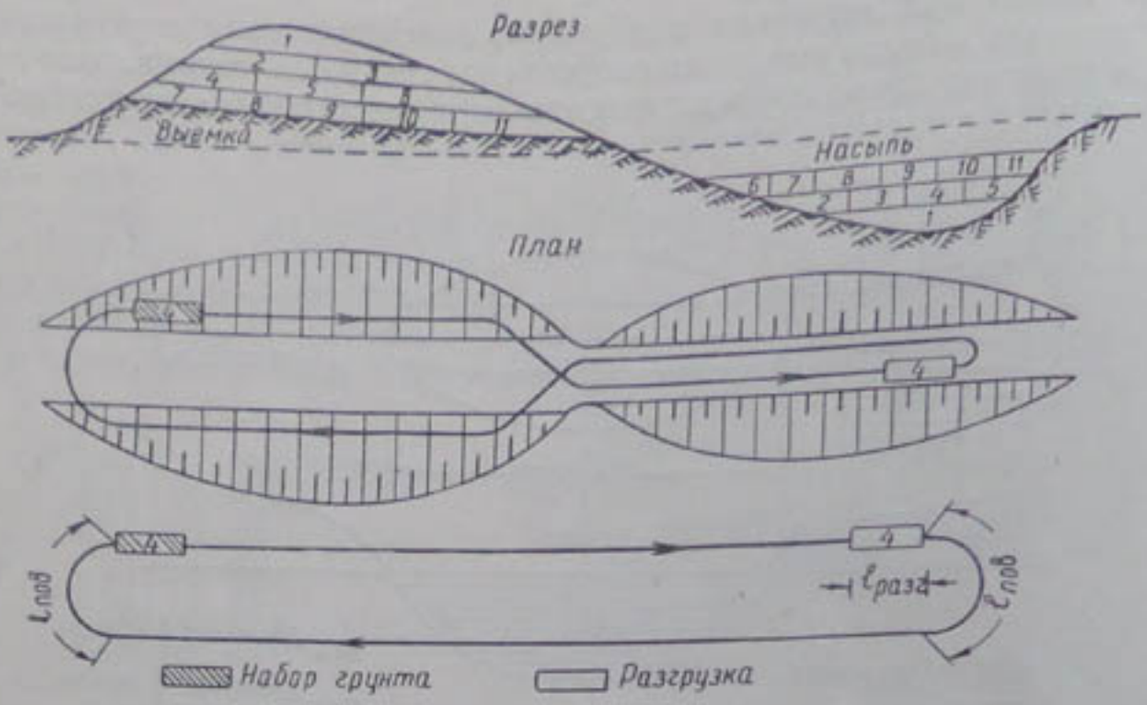


Рис. 26. Продольная схема отсыпки насыпи из выемки с отвозкой грунта в дамбы.

§ 7. ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ

При поперечной возке (по эллиптической и другим схемам) отдельные элементы схемы должны быть подобраны так, чтобы длина кольца получилась наименьшей. Для этого делают тяговые расчеты для двух этапов работ: а) резания грунта и наполнения ковша, б) движения груженого скрепера на подъем.

Для этапа резания грунта и наполнения ковша на горизонтальном участке можно пользоваться формулой:

$$F_{кр} \geqslant W = K_{рез}\, bh_{стр} + \varepsilon Q + (Q + q)\, W_0, \tag{31}$$

где $F_{кр}$ — сила тяги трактора на крюке в *кг*;

W — сумма сопротивлений в процессе резания и наполнения в *кг*;

$K_{рез}$ — удельное сопротивление резанию в *кг/м²*;

b — ширина ковша в *м*;

$h_{стр}$ — толщина срезаемой земляной стружки в *м*;

Q — вес грунта в ковше в *т*;

q — вес ковша в *т*;

ε — удельное сопротивление при наполнении ковша в *кг/м³*;

W_0 — удельное сопротивление скрепера, как повозки, в *кг/т*.

Коэффициентом сопротивления при наполнении ковша ε называется отношение тягового усилия, необходимого для преодоления сопротивления при наполнении ковша, а также сопротивлений от волочения вала грунта перед ковшом, к весу грунта Q, поступающего в ковш. Следовательно, $\varepsilon = \frac{K_{нап}}{Q}$, или $K_{нап} = \varepsilon Q$, где Q — вес грунта в *кг*.

Для резания грунта при движении на подъем или под уклон пользуются следующей формулой:

$$W = K_{рез}\, bh_{стр} + \varepsilon Q + (Q + q)\, W_0 \mp (Q + q)\, i \mp P_{тр}\, i, \tag{32}$$

где $P_{тр}$ — вес трактора в *т*; i выражено в *кг/т*.

В четвертом и пятом членах правой части берется знак (+) при резании на подъем и знак (−) при резании под уклон.

Так как сопротивления при наборе на подъем значительно увеличиваются, то набор грунта следует производить на горизонтальных участках.

В уравнении (31) имеются два неизвестных: $h_{стр}$ и $K_{нап}$, так как вес грунта в ковше Q зависит от степени наполнения ковша $K_{нап} = \varepsilon(Q)$.

Обычно сумма сопротивлений при наполнении ковша больше $F_{кр}$ и не представляется возможным производить резание грунта при максимальном значении $h_{стр}$, равном конструктивному. Поэтому уравнение (31) приходится решать подбором, уменьшая либо $h_{стр}$, либо $K_{нап}$, либо то и другое; решение уравнения подбором создает неопределенность и не дает гарантии в том, что получаемое решение является наивыгоднейшим.

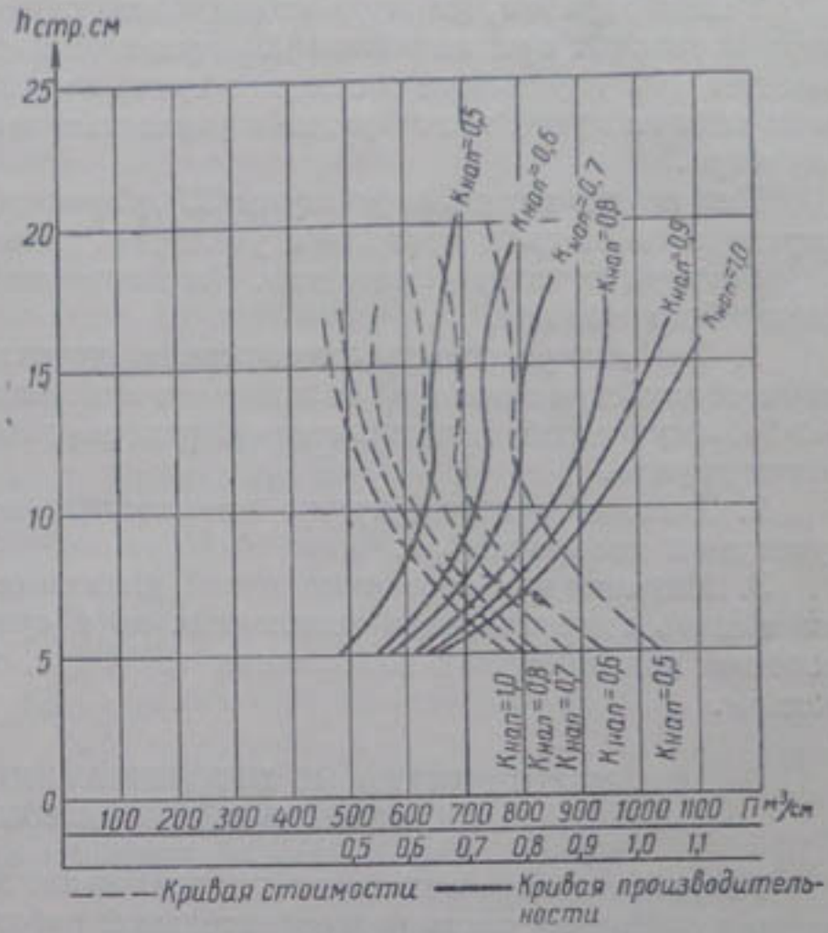


Рис. 27. График зависимости производительности $П$ и стоимости разработки 1 $м^3$ грунта c от $h_{стр}$ и $K_{нап}$ для грунта IV категории (плотного).

Произведенное нами исследование этого вопроса показывает, что при сбалансировании сил сопротивления и тяги наибольшая производительность скрепера и наименьшая стоимость 1 $м^3$ получается при $K_{нап} = 1$ (рис. 27) или, еще лучше, при наполнении с «шапкой». Такова и практика передовых трактористов, которые предпочитают увеличивать длину набора и уменьшать $h_{стр}$, но зато работать с полным ковшом. Это вполне понятно, так как стоимость наиболее дорогой составляющей работы—транспортировки грунта—уменьшается при увеличении кубатуры грунта в ковше.

Поскольку $K_{нап}$ нами определено, в уравнении (31) остается только одно неизвестное и теперь можно определить $h_{стр}$. Однако приводимые ниже расчеты показывают, что оптимальное значение $h_{стр.\,опт}$ определяется из условий организации работ. Таким образом, оба неизвестных—$K_{нап}$ и $h_{стр}$—определяются из условия обеспечения наиболее производительной работы скрепера.

Однако отсюда не следует делать выводы о том, что тяговые расчеты не нужны. Они необходимы для того, чтобы определить по оптимальным значениям $K_{нап}$ и $h_{стр}$ сопротивления при резании W. Если, как обычно бывает, $W > F_{кр}$, то необходимо принять ряд мер, чтобы уменьшить W.

Руководящий подъем в грузовом направлении $i_{рук}$ определяется по формуле:

$$i_{рук} = \frac{F_{кр} - (Q+q)\,W_0}{Q+q+P}. \qquad (33)$$

При пользовании формулой (31) нужно иметь в виду, что сила тяги на крюке трактора $F_{кр}$ не является постоянной величиной, как это указывается в справочниках, а значительно изменяется в зависимости от удельного сопротивления движению W.

Поэтому тяговые расчеты нужно вести не по значениям $F_{кр}$, а по величинам касательной силы тяги $F_{кас}$, определяемым по формуле (15).

Из формулы (15) видно, что уменьшение W только на 50 $кг/т$ не только уменьшает правую часть уравнения (сопротивления) примерно на 750 $кг$

(при работе со скрепером Д-147), но и увеличивает левую часть (тяговое усилие) на 570 *кг*. В сумме улучшение тяговых условий получается на 1320 *кг*, или на 15% от паспортного значения силы тяги на крюке на первой скорости.

Таким образом, на этапе наполнения улучшение состояния путей скрепера позволяет при заданном $K_{рез}$ увеличить толщину срезаемой стружки, так как при улучшении состояния путей не только увеличивается реальная сила тяги на крюке трактора, но и уменьшается сопротивление при движении скрепера.

Как можно видеть из формулы (33), улучшение состояния путей движения скрепера на подъем позволяет увеличить также руководящий подъем $i_{рук}$.

Выводы из тяговых расчетов. На основе тяговых расчетов можно сделать следующие выводы.

1. Тяговые расчеты на этапе резания грунта и наполнения ковша следует производить при возможно большем его наполнении, так как это обеспечивает наибольшую производительность скрепера и наименьшую стоимость разработки грунта.

2. Тяговые расчеты нужно производить по касательной силе тяги на гусеницах трактора $F_{кас}$.

3. Улучшением состояния путей движения скрепера можно не только уменьшить сопротивление движению, но и существенно улучшить тяговые условия как в период наполнения скрепера, так и при движении его на подъем.

§ 8. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОДДЕРЖАНИЮ ПУТЕЙ ДВИЖЕНИЯ СКРЕПЕРА В ХОРОШЕМ СОСТОЯНИИ

Устройство хороших дорог и поддержание их в исправном состоянии — важная составная часть подготовительной работы, которая позволяет увеличить скорости движения агрегатов, повысить $h_{стр}$ и уменьшить время цикла $T_ц$.

Подготовительные работы, в том числе и дорожные, принимаются по акту, после чего дается разрешение приступить к резанию и отвозке грунта скрепером. В случае неудовлетворительного состояния дорог работы следует временно прекращать.

Наличие даже небольших бугров и ям на путях движения скреперов увеличивает удельное сопротивление движению, существенно ухудшает условия выполнения работ, снижает производительность и повышает их стоимость.

Пути движения скрепера должны постоянно поддерживаться в хорошем состоянии.

Скреперы после разгрузки грунта должны сами планировать путь; для этого поднимают заслонку и выдвигают вперед заднюю стенку. В этом положении нож срезает встречающиеся на пути бугры и кочки и засыпает расположенные рядом углубления.

Передовые трактористы, совершенствуя приемы работ и улучшая пути движения скреперов, добиваются значительного повышения их производительности и экономии горючего.

Пути набора грунта, въезды и съезды, а также фронт разгрузки должны систематически планироваться бульдозерами, входящими в обязательное табельное оборудование бригады. Планировка путей движения скреперов бульдозерами на Усть-Быстренском карьере Волгодонстроя обеспечила повышение производительности на 34%. Особое внимание следует обращать на планировку разгрузочных путей и разгруженного грунта, так как движение по свежеотсыпанному грунту сопровождается резким повышением удельных сопротивлений движению W (примерно от 100 до 300 *кг/т*).

Движение скреперов при разработке рыхлых песков и супесей происходит не только с огромным удельным сопротивлением движению ($W = 250 \div 300$ *кг/т*), но и с незначительным наполнением ковша грунтом $K_{нап}$. В этих

условиях, кроме планировки, нужно еще увлажнять рыхлые пески и супеси, что уменьшает сопротивления движению и увеличивает $K_{нап}$. Увлажнение пылящих грунтов служит также средством борьбы с пылью, вредно действующей на здоровье людей, уменьшающей видимость для трактористов и отрицательно влияющей на состояние агрегатов. Поэтому при разработке подобных грунтов в состав табельного оборудования должны включаться также поливочные автоцистерны. Переувлажненные грунты должны осушаться. Руководящие подъемы путей движения $i_{рук}$ следует поддерживать на уровне расчетных величин. Обледеневшие в зимнее время дороги и скользкие дороги после летних дождей необходимо посыпать песком для увеличения сцепления агрегата с полотном дороги.

Неровности в забое определяют колебания $h_{стр}$ на 5—6 *см*, вследствие чего средние значения $h_{стр}$ снижаются. По данным практики создание ровного забоя дает среднюю экономию во времени цикла на 6 %.

§ 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ДЛИНЫ НАБОРА ГРУНТА И ДЛИНЫ РЕЗЕРВА

Длину набора $L_{наб}$ определяют по приближенной формуле:

$$L_{наб} = \frac{vK_{нап}K_{разгр}}{bh_{стр}} + 0{,}5 \text{ м}. \tag{34}$$

Расчетную длину резерва $L_{рез.\ расч}$ находим по формуле:

$$L_{рез.\ расч} = L_{наб} + L_{поезд} - l_{сц}, \tag{35}$$

где $L_{поезд}$ — длина поезда (трактора и скрепера);
$l_{сц}$ — расстояние от ножа скрепера до буфера (рис. 28,*а*).

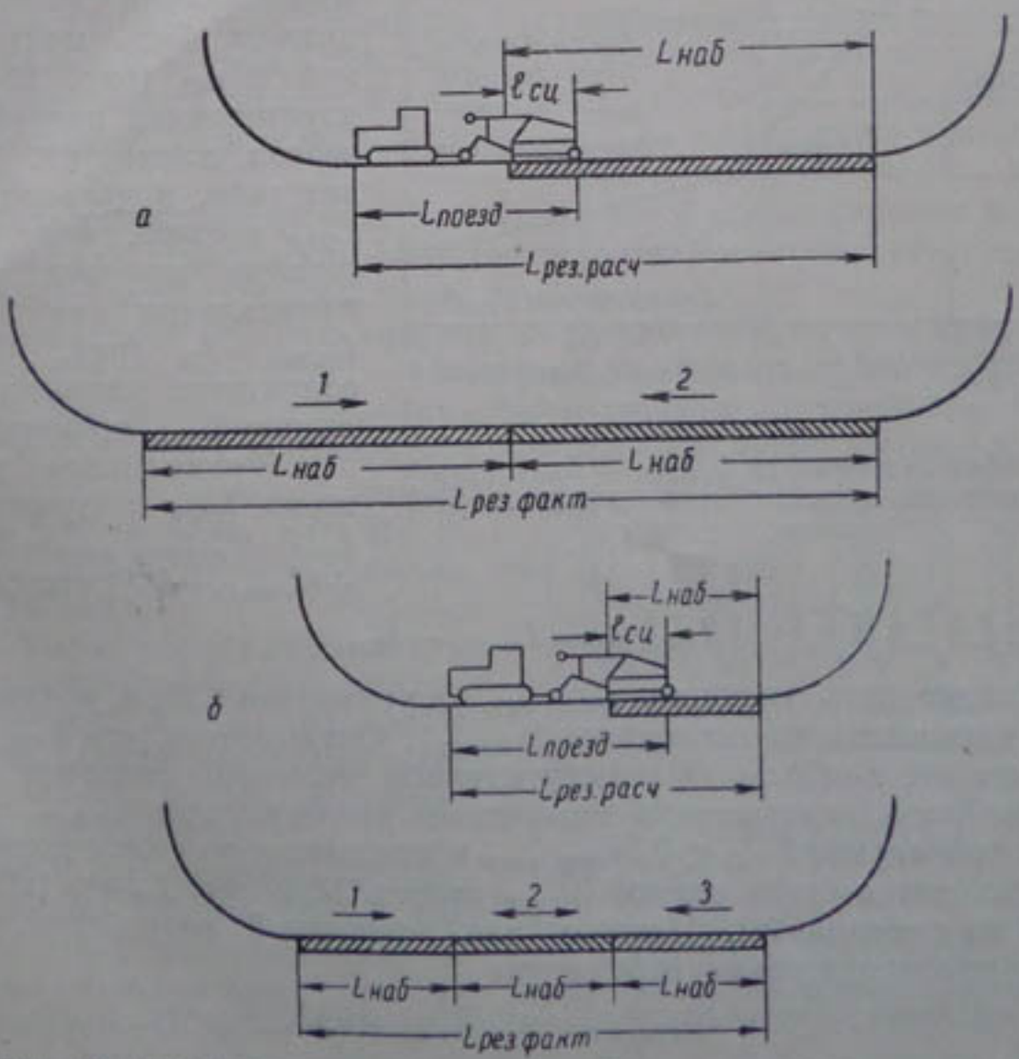


Рис. 28. Определение длины резерва $L_{рез.расч}$ по вычисленной длине набора $L_{наб}$:
а — при $L_{наб} > 0{,}5\ L_{рез.расч.}$; *б* — при $L_{наб} < 0{,}5\ L_{рез.\ расч.}$

Формула (34) является приближенной, так как в ней не учитывается образование валика грунта перед ножом скрепера при ее движении.

Для того чтобы иметь возможность разработать резерв на всей его длине по схеме с поперечной отвозкой, необходимо вести резание грунта

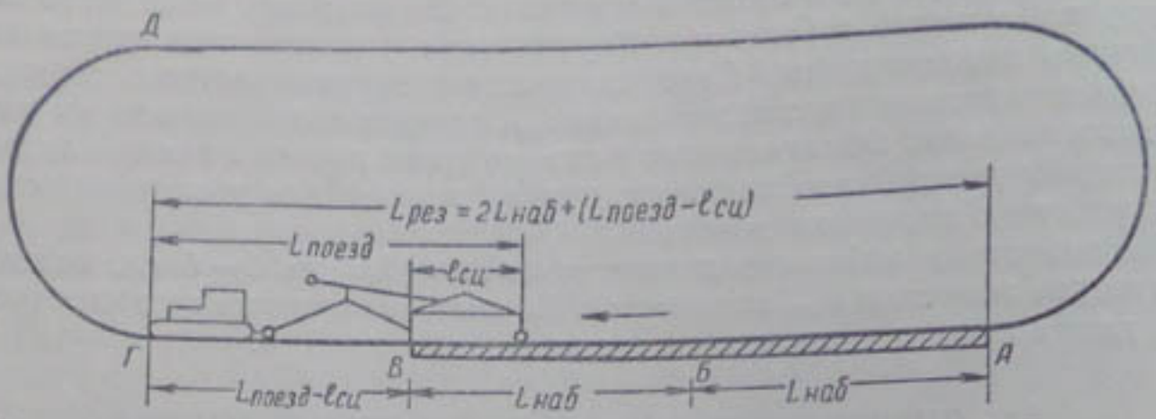


Рис. 29. Разработка боковых резервов в одном направлении. Положение тракторного поезда при конце набора на участке $БВ$.

сначала в одном направлении, а затем в другом. Это нужно и для того чтобы повороты скрепера производились попеременно то в одну, то в другую сторону, что уменьшает износ ходовой части. Поэтому при $L_{наб} > 0{,}5L_{рез.\ расч}$ фактическая минимальная длина резерва $L_{рез.\ факт}$ должна быть увеличена до $2L_{наб}$ (рис. 28, *а*).

При $L_{наб} < 0{,}5L_{рез.\ расч}$ минимальная длина резерва должна быть принята равной $3L_{наб}$ (рис. 28, *б*). При двусторонней разработке резервов длина их, а следовательно, и дальность возки $L_{дал}$ меньше, чем при разработке резервов в одном направлении на величину $L_{поезд} - l_{сц}$ (рис. 29), что сокращает минимальную величину $L_{дал}$, примерно до 20%.

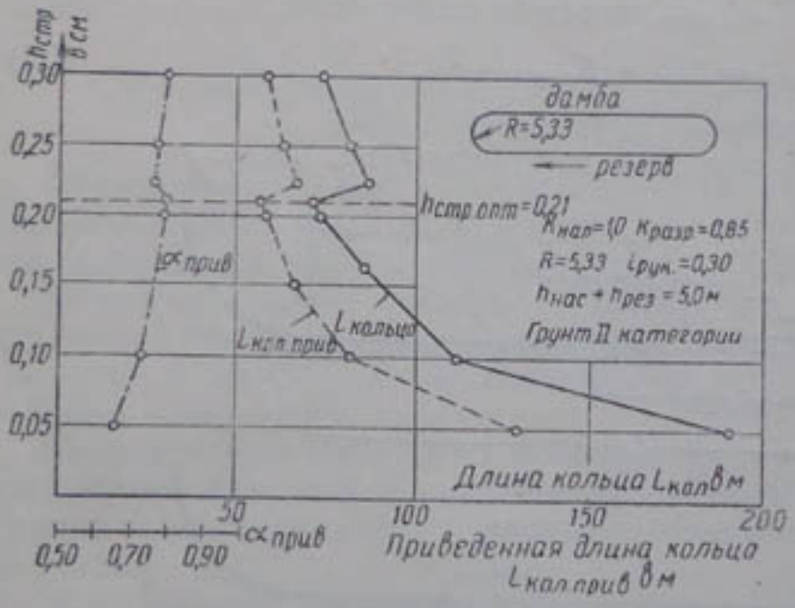


Рис. 30. График зависимости $L_{кольц\ а}$, $L_{кол.\ прив}$ и $\alpha_{прив}$ от толщины стружки при эллиптической схеме.

Минимальная длина резерва $L_{рез}$ получается при $L_{наб} = 0{,}5L_{рез.\ расч} = 0{,}5[L_{наб} + (L_{поезд} - l_{сц})]$; отсюда

$$L_{наб.\ опт} = L_{поезд} - l_{сц}. \tag{36}$$

Если подставить величину $L_{наб.\ опт}$ из уравнения (36) в уравнение (34) то можно определить из последнего $h_{стр.\ опт}$. Оказывается, что $h_{стр.\ опт}$ значительно меньше наибольшей конструктивной толщины земляной стружки $h_{стр.\ к}$; более того, оказывается невыгодным работать при $h_{стр.\ к}$, так как именно в этом случае $L_{наб} < 0{,}5L_{рез.\ расч}$ и минимальную фактическую длину резерва приходится брать равной $3L_{наб}$ против $2L_{наб}$ при $L_{наб} > 0{,}5L_{рез.\ расч}$. Это видно из рисунка 30. Поэтому для поперечной разработки наиболее выгодна и производительна работа при

$$h_{стр.\ опт} \quad \text{и} \quad K_{нап} > 1.$$

Для скрепера Д-147 $h_{стр.\ опт}$ по расчетам получается равным 0,21—0,22 *м*, что значительно меньше конструктивной максимальной толщины резания 0,30 *м*.

§ 10. МЕРОПРИЯТИЯ ПО УМЕНЬШЕНИЮ $K_{рез}$ И УВЕЛИЧЕНИЮ $h_{стр}$

Рыхление. Удельное сопротивление резанию грунта $K_{рез}$ зависит от плотности грунта, его состояния и ряда других факторов.

Сопротивление грунта резанию $K_{рез}$ быстро возрастает с повышением категории грунта: от 0,3—0,5 *кг/см²* — для грунта I категории, до 0,5—1 *кг/см²* — для грунтов II категории, 1—1,8 *кг/см²* — для грунтов III категории и 2—3 *кг/см²* — для грунтов IV категории.

Одним из наиболее простых средств уменьшения сопротивления резанию грунтов III—IV категорий является предварительное рыхление их рыхлителями Д-162, могущими производить рыхление грунта на глубину до 0,55 *м*.

Так как сопротивление резанию при разработке плотных грунтов (например, скрепером Д-147) составляет около 60% от суммы всех сопротивлений при наборе, то предварительное рыхление позволяет увеличивать толщину срезаемой стружки.

Данные практики подтверждают нерациональность разработки плотных грунтов без предварительного рыхления, так как в этом случае толщина срезанной стружки $h_{стр}$ получается не более 3—5 *см*; предварительное рыхление дает возможность увеличивать ее до 10—15 *см* и значительно улучшать наполнение ковша. Стоимость рыхления незначительна—около 0,05 руб. за 1 $м^3$.

При рыхлении нельзя слишком измельчать грунты, так как при этом уменьшается степень наполнения ковша грунтом.

На Волгодонстрое при рыхлении суглинистых грунтов пятистоечными рыхлителями получалась очень мелкая структура грунта, образовывалось много пыли и работа лопат не улучшалась после рыхления. На глинистых же грунтах структура их после рыхления получалась комковатой и рыхление давало превосходные результаты.

Следовательно, при рыхлении суглинков надо было сократить число стоек рыхлителя до трех с тем, чтобы осуществлять рыхление в виде борозд.

При рыхлении в качестве тягача можно применять бульдозер, который, кроме рыхления, может быть использован на планировке путей движения скреперов.

Недостаток рыхления состоит в увеличении сопротивления движению W при наборе; для уменьшения W целесообразно после рыхления прикатывать разрыхленный грунт легким катком.

Сопротивление резанию зависит не только от категории грунта, но и от его влажности; сухие грунты оказывают большее сопротивление резанию, чем такие же грунты, доведенные до состояния оптимальной влажности.

Поэтому при разработке сухих грунтов—супесей, лессов—вместо рыхления можно ограничиваться увлажнением грунтов, как это и практикуется иногда при экскаваторных работах.

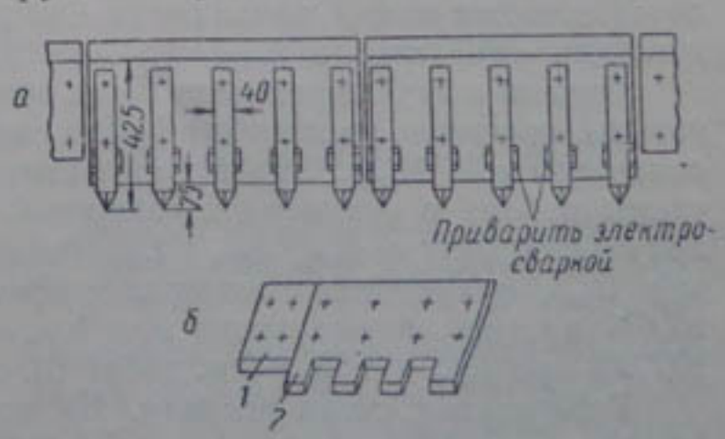


Рис. 31. Нож скрепера Д-213:
а—схема установки дополнительных рыхлящих зубьев на средних ножах; *б*—гребенчатый нож: *1*—крайний; *2*—средний.

В табельное оборудование отрядов скреперов при работе в грунтах, требующих предварительного рыхления, следует добавлять рыхлители, легкие катки, а также поливочные машины.

Ножи с рыхлящими зубьями. Выступающие средние ножи. На Волгодонстрое, по предложению А. З. Псахья, ножи при разработке грунтов III—IV категорий оборудовались рыхлящими зубьями (рис. 31, *а*), а при разработке грунтов I—II категорий применялись гребенчатые ножи (рис. 31, *б*). Эффект этого мероприятия получился значительным.

Действительно, при наличии зубьев $L_{наб} = 35$ *м*, $t_{наб} = 72$ *сек*, $K_{нап} = 1$, тогда как без зубьев $L_{наб} = 45$ *м*, $t_{наб} = 97$ *сек* и $K_{нап} = 0{,}5 \div 0{,}6$.

Благодаря применению зубьев скреперы с ковшом емкостью 10 $м^3$ могли работать с одним трактором С-80 без тягачей.

На строительстве одной из автодорог при разработке тяжелых глин IV категории скреперы Д-213 с ковшом емкостью 10 $м^3$ могли работать только с двумя тракторами С-80. После применения резаков-рыхлителей надобность во втором тракторе отпала, а производительность скреперов значительно увеличилась (рис. 32).

Приведенные примеры показывают положительную роль рыхлящих зубьев, гребенчатых ножей и ножей с повышенным

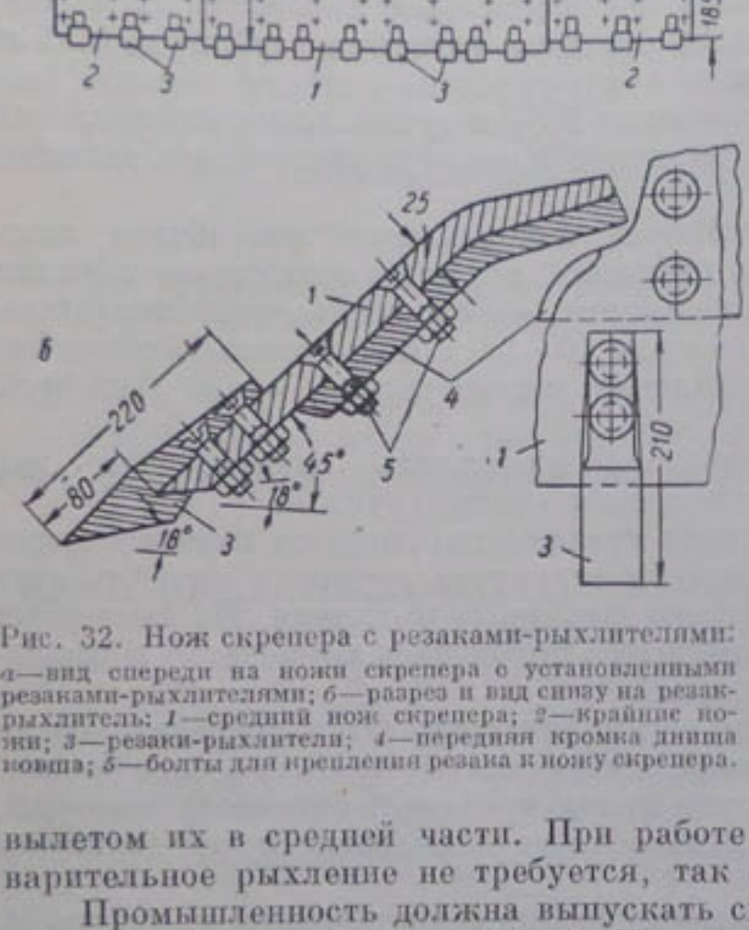


Рис. 32. Нож скрепера с резаками-рыхлителями:
а—вид спереди на ножи скрепера с установленными резаками-рыхлителями; *б*—разрез и вид снизу на резак-рыхлитель: *1*—средний нож скрепера; *2*—крайние ножи; *3*—резаки-рыхлители; *4*—передняя кромка днища ковша; *5*—болты для крепления резака к ножу скрепера.

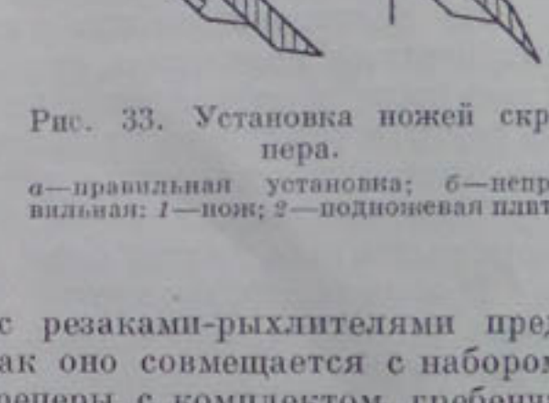


Рис. 33. Установка ножей скрепера.
а—правильная установка; *б*—неправильная: *1*—нож; *2*—подножевая плита.

вылетом их в средней части. При работе с резаками-рыхлителями предварительное рыхление не требуется, так как оно совмещается с набором.

Промышленность должна выпускать скреперы с комплектом гребенчатых ножей и рыхлящих зубьев. На стройках необходимо своими силами делать рыхлящие зубья для имеющихся скреперов. Зубья и ножи должны быть острыми, а установка их двусторонней, допускающей переворачивание (рис. 33). Изнашивающиеся кромки зубьев и ножей надо периодически восстанавливать или наплавлять.

Резание с переменной толщиной стружки. Наибольшие сопротивления соответствуют концу наполнения ковша, который и принимается за расчетный для определения $h_{стр}$.

Однако в начале резания, когда сопротивления при наполнении незначительны, возможно увеличение $h_{стр}$ за счет не достигших еще своего максимума сопротивлений $K_{нап}$. Эти предпосылки и положены в основу предлагаемой схемы набора с переменной толщиной стружки (рис. 34, *а*). При этом $h_{стр}$ получается больше $h_{стр.\ расч}$, а $L_{наб}$ уменьшается. Увеличение $h_{стр}$, уменьшающее $L_{нап}$, существенно сокращает время цикла, которое увеличивается на 16,6% против оптимального при $h_{стр} = 0{,}15$ *м*, на 46% при $h_{стр} = 0{,}10$ *м* и 107,9% при $h_{стр} = 0{,}05$ *м* (см. табл. 6).

Гребенчатая схема резания. На дорожных работах применяется гребенчатая схема резания (рис. 34, *б*).

Нож устанавливается сначала на максимальную глубину резания, затем, по мере возрастания сопротивлений, он выглубляется до 0,8—0,9 первоначальной его глубины. Далее снова заглубляется до 70% от первоначального заглубления и снова постепенно поднимается. Аналогичным способом делают и третье заглубление. Новаторы производства добивались этим приемом получения $K_{нап} = 1{,}1 \div 1{,}2$ и $L_{наб} = 15 \div 25$ *м* в легких грунтах

при двух выглублениях, а в тяжелых грунтах $L_{наб} = 25 \div 30$ *м* при 3—4 выглублениях. Это соответствует $h_{стр}$ в легких грунтах 0,16—0,10 *м* и в тяжелых 0,08—0,07 *м*.

Хотя $K_{нап}$ получается хорошим, все же нельзя считать эти результаты особенно успешными, так как $h_{стр}$ значительно меньше оптимального значения, равного 0,20—0,21 *м* (для скрепера Д-147).

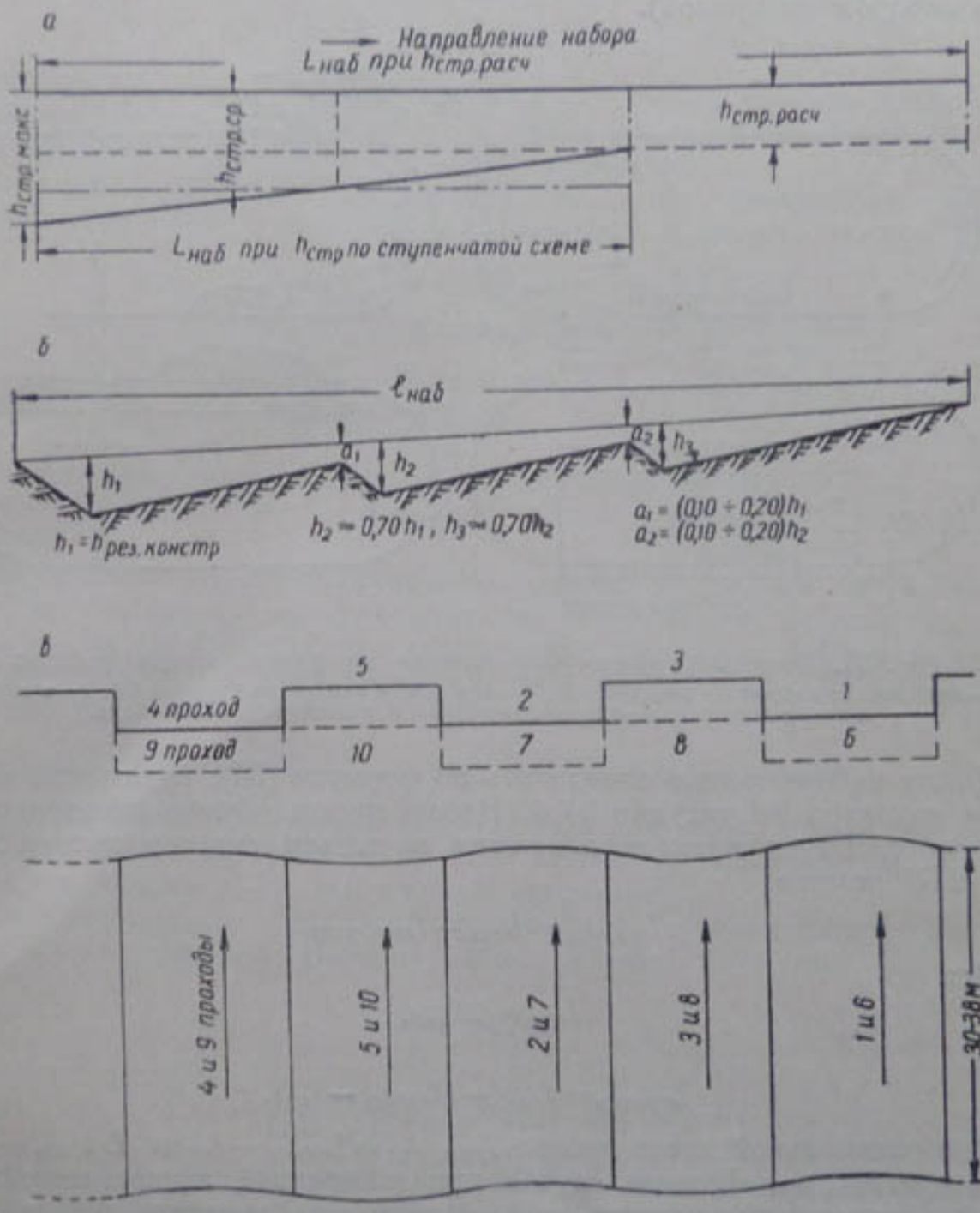


Рис. 34. Схемы набора грунта:
а—с переменной толщиной стружки; *б*—гребенчатая; *в*—шахматно-ребристая.

При гребенчатой схеме канаты несколько больше изнашиваются. Применение рыхлящих зубьев при работе по гребенчатой схеме улучшило бы результаты работы.

Шахматно-ребристая схема. Внедрение шахматно-ребристой схемы зарезания способствует ускорению набора грунта. При этой схеме срезается грунт не по смежным полосам, а через одну, после чего снимаются промежуточные полосы.

Последовательность снятия полос показана цифрами на рисунке 34, *в*. Так как при шахматно-ребристой схеме промежуточные полосы освобождены с двух сторон от грунта, то срезание их облегчается.

Передовые трактористы, работая по этой схеме, сокращают время набора грунта на 10% и повышают наполнение ковша грунтом.

§ 11. РАЗЛИЧНЫЕ ЭТАПЫ РАБОТЫ СКРЕПЕРОВ ПРИ ПОПЕРЕЧНОЙ РАЗРАБОТКЕ. РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Набор грунта начинается (рис. 35, *а*), когда сцепка скрепера находится на одной прямой с трактором; это правило нужно соблюдать во избежание разрыва сцепок и для уменьшения нагрузки трактора при наборе (по сравнению с набором на кривой).

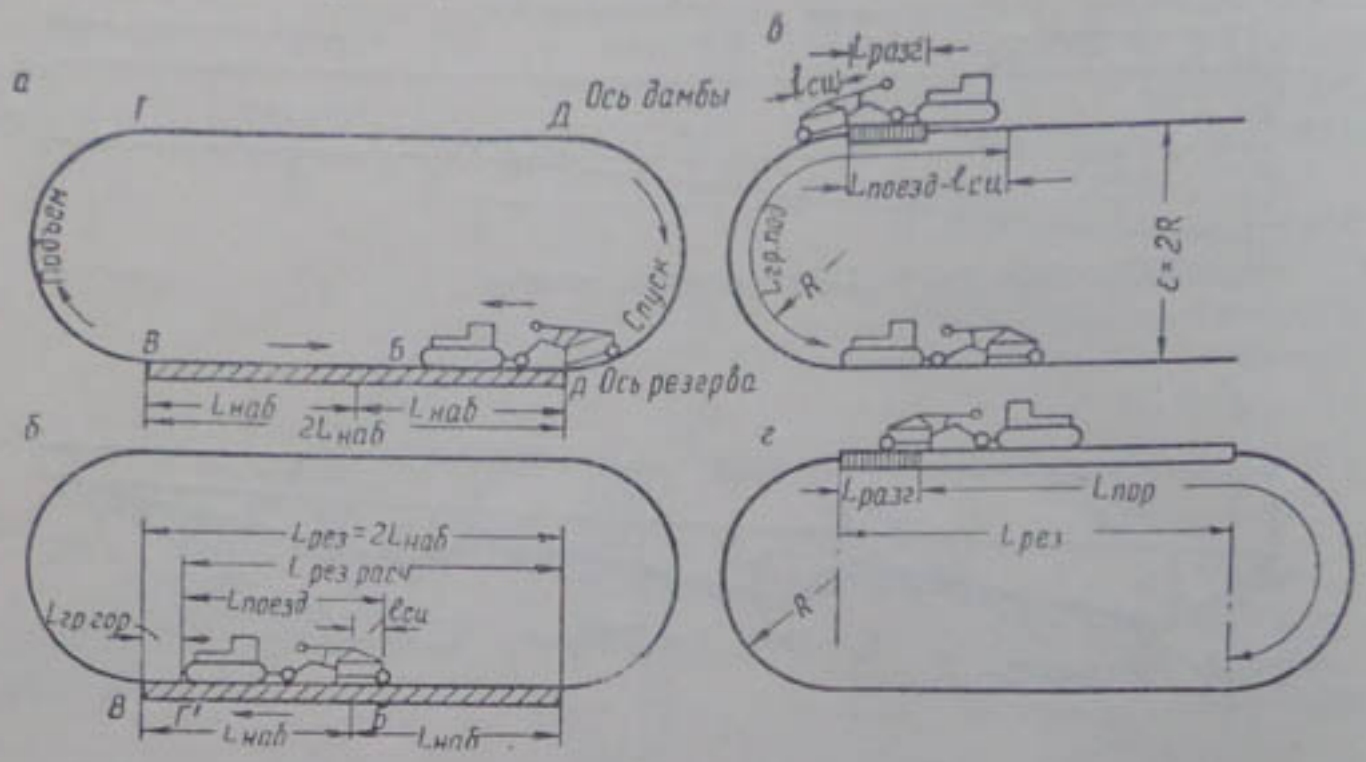


Рис. 35. Положение тракторного поезда на разных этапах работы:
а—при начале набора на участке *АБ*; б—при конце набора на участке *БВ*; в—в начале и конце подъема; г—в конце разгрузки и начале порожнего хода.

Длину набора можно определить по формуле (34); положение в конце набора показано на рисунке 35, *б*. Набор грунта обычно производится на I скорости. Перед началом движения на подъем скрепер должен пройти участок *ВГ* резерва:

$$L_{\text{гр. гор}} = L_{\text{рез}} - L_{\text{рез. расч}}. \tag{37}$$

При

$$L_{\text{рез}} = 2L_{\text{наб}},$$

длина

$$L_{\text{гр. гор}} = L_{\text{наб}} - (L_{\text{поезд}} - l_{\text{сц}}). \tag{38}$$

При оптимальной длине набора $L_{\text{наб. опт}} = L_{\text{поезд}} - l_{\text{сц}}$ и $L_{\text{гр. гор}} = 0$, что бывает при $h_{\text{стр. опт}}$. В этом случае при поперечной эллиптической схеме дальность возки будет минимальной. Между тем зачастую работа выполняется при $h_{\text{стр}} = 0{,}10 \div 0{,}05$ *м* и даже менее; участки $L_{\text{гр. гор}}$ достигают значительных величин, а $T_{\text{ц}}$ резко возрастает. Поэтому необходимо принять все возможные меры для доведения толщины стружки до ее оптимального значения, в результате чего дальность возки будет доведена до минимума, а производительность скрепера до максимума.

Участок $L_{\text{гр. гор}}$ скрепер может проходить на III и IV скоростях.

Длина подъема в груженом направлении (рис. 35, *в*) определяется по формуле:

$$L_{\text{гр. под}} = \Pi R + (L_{\text{поезд}} - l_{\text{сц}}). \tag{39}$$

Разгрузка скрепера производится на длине:

$$L_{\text{разгр}} = \frac{VK_{\text{нап}}}{bh_{\text{разгр}}}, \tag{40}$$

где $h_{\text{разгр}}$ — толщина разгружаемого слоя.

Разгрузка производится на II или III скорости. После окончания разгрузки начинается порожний ход скрепера (рис. 35, *в*), длина которого

$$L_{\text{пор}} = L_{\text{рез}} - L_{\text{разгр}} + \pi R. \tag{41}$$

Порожний ход скрепера проходит на IV или даже на V скорости.

§ 12. ПРИВЕДЕННАЯ ДЛИНА КОЛЬЦА $L_{\text{кол. прив}}$

Приведенной длиной какого-либо участка кольца назовем длину, которую прошел бы скрепер на I скорости движения за время, в течение которого он проходит этот участок с данной скоростью.

Приведенная длина кольца равна сумме длин приведенных участков, проходимых скрепером при отдельных операциях в течение цикла:

$$L_{\text{кол. прив}} = L_{\text{наб}} \cdot 1 + L_{\text{гр. гор}}\,\alpha_{\text{гр. гор}} + L_{\text{гр. под}} \cdot 1 + \\ + L_{\text{разгр}}\,\alpha_{\text{разгр}} + L_{\text{пор}}\alpha_{\text{пор}} + 0{,}1n\upsilon_{\text{I}}, \tag{42}$$

где $\alpha_{\text{гр. гор}}$, $\alpha_{\text{разгр}}$ и $\alpha_{\text{пор}}$ — коэффициенты для выражения величин соответствующих отрезков пути скрепера — $L_{\text{гр. гор}}$, $L_{\text{разгр}}$ и $L_{\text{пор}}$ — как «приведенных».

Так как при наборе и подъеме скрепер проходит эти отрезки пути на I скорости, поэтому в первом и третьем члене формулы (42) коэффициент $\alpha = 1$.

Если набор и движение груженого скрепера на подъем происходит на I скорости, участок $L_{\text{гр. гор}}$ проходится на IV скорости, участки $L_{\text{разгр}}$ на III и $L_{\text{пор}}$ — на IV скорости, n — число переключений по 0,10 *мин* каждое (нормативное время на одно переключение), то формула (42) приобретает следующий вид:

$$L_{\text{кол. прив}} = L_{\text{наб}} + 0{,}305L_{\text{гр. гор}} + L_{\text{гр. под}} + 0{,}44L_{\text{разгр}} + 0{,}305L_{\text{пор}} + 3{,}4n.$$

Значения коэффициента α в формуле (42) получены, исходя из снижения рабочих скоростей трактора на 10% против каталожных (34, 54, 77, 111 и 145 *м/мин* на I, II, III, IV и V скоростях).

Величина $L_{\text{кол. прив}}$ обратно пропорциональна времени цикла $T_{\text{ц}}$ и производительности скрепера. Поэтому можно написать формулы:

$$\frac{L_{\text{прив}}}{\upsilon_{\text{I}}} = T_{\text{ц}}; \tag{43}$$

$$П = \frac{480K_{\text{вр}}\,\upsilon_{\text{I}}}{L_{\text{кол. прив}}} V_{\text{ков}}\,K_{\text{нап}}\,K_{\text{разгр}}\ м^3/см. \tag{44}$$

Для одной и той же длины кольца $L_{\text{кол}}$ приведенная длина кольца $L_{\text{кол. прив}}$ будет изменяться в зависимости от того, происходит ли груженый ход при движении на подъем или под уклон, в зависимости от соотношений длин груженого и порожнего хода и т. д. При груженом ходе под уклон $L_{\text{кол. прив}}$ уменьшается по сравнению с движением на подъем на 5, 9 и 15% при значениях $h_{\text{стр}} = 0{,}21$, 0,15 и 0,05 *м* (для скрепера Д-147).

§ 13. ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ. ВОЗМОЖНОСТИ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЦИКЛА ЗА СЧЕТ СОКРАЩЕНИЯ ЧИСЛА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ

При двусторонней разработке боковых резервов по схеме поперечной отвозки, когда резерв расположен ниже дамбы, при прохождении кольца с указанными ранее скоростями приходится делать пять переключений; на это, при норме в 6 *сек* на каждое переключение, затрачивается 30 *сек*, или около 5—30% от времени цикла.

Однако переключения выгодно делать только в том случае, когда экономия времени на прохождение с более высокими скоростями следующего

за переключением участка будет больше, чем время, затрачиваемое на переключения. Если участок длиной x проходится со скоростями v_1 с двумя переключениями—до начала участка и после него, то время, затрачиваемое на прохождение его, будет:

$$t_1 = \frac{x}{v_1} + 2t_{\text{пер}},$$

где $t_{\text{пер}}$ — время на переключения.

Если же скрепер проходит участок x без переключений со скоростью $v_2 < v_1$, то время прохождения участка составит

$$t_2 = \frac{x}{v_2}.$$

Переключения целесообразны при $t_1 \leqslant t_2$ или

$$\frac{x}{v_1} + 2t_{\text{пер}} < \frac{x}{v_2}.$$

Отсюда находим (при необходимости делать два переключения)

$$x \geqslant \frac{2t_{\text{пер}}\, v_1\, v_2}{v_1 - v_2} \tag{45}$$

и при одном переключении

$$x \geqslant \frac{t_{\text{пер}}\, v_1\, v_2}{v_1 - v_2} \tag{45а}$$

Расчеты показывают, что переключения перед прохождением участка $L_{\text{гр. гор}}$ выгодно делать при $x \geqslant 9{,}7$ *м*, а перед разгрузкой $L_{\text{разгр}} \geqslant 9{,}2$ *м*, или округляя $x \geqslant 10$ *м*.

Так как число переключений трактора может существенно влиять на время цикла $T_{\text{ц}}$, то правильной организации переключений следует уделять внимание при проектировании организации работ, а число переключений определять по расчету.

Расчеты показывают, что при рациональной организации работ по эллиптической схеме число переключений рационально сокращать до двух и делать одно переключение перед началом набора, а другое—перед началом порожнего хода.

Опытные трактористы сокращают время переключений до 4 *сек*; в этом случае переключения делаются рациональными при $x \geqslant 6{,}0 \div 6{,}5$ *м*.

§ 14. РАЗГРУЗКА. ВЫВОДЫ

Из формулы (41) и рисунка 35, *г* видно, что с уменьшением длины разгрузки $L_{\text{разгр}}$ за ее счет увеличивается длина порожнего хода, проходимого при более высоких скоростях движения трактора, чем разгрузка.

Поэтому разгрузку следует производить на возможно меньшей длине с тем, чтобы за счет ее уменьшения увеличить длину порожнего хода; для этого толщина разгружаемого слоя должна быть максимально возможной.

Конструктивная толщина разгрузки скреперов с ковшом емкостью 6—15 $м^3$ составляет 0,35—0,40 *м*. Она примерно соответствует толщине слоя, уплотняемого кулачковыми катками. Длина разгрузки $L_{\text{разгр}}$ определяется по формуле (40).

Для скрепера Д-147 при $h_{\text{разгр}} = 0{,}4$ *м* длина разгрузки $L_{\text{разгр}} = 5{,}8$ *м*.

В таблице 6 приведены результаты расчетов по определению длины отдельных элементов цикла при эллиптической схеме с поперечной отвозкой для $h_{\text{наб}} + h_{\text{раз}} = 5$ *м* для скреперов Д-147; рассмотрены варианты с различной толщиной земляной стружки ($h_{\text{стр}}$ изменяется от оптимальной величины, равной от 0,21 до 0,05 *м*).

Таблица 6

№ схемы	$h_{стр}$ в м	Число переключений n	$L_{наб}$ в м	$L_{гр.\ гор}$ в м	$L_{гр.\ под}$ в м	$L_{разгр}$ в м	$L_{пор}$ в м	$L_{кол}$ в м	$L_{кол.\ прив}$ в м	$L_{кол.\ прив}$ в %	$L_{кол.\ прив}$ в % к схеме 1—в	
I	а. 0,21	2	×9,4	0	26,1	9,4	×26,1	71,0	57,8	104,1	104,1	$L_{разгр}=L_{наб}$
	б. 0,21	3	×9,4	0	26,1	[×] 9,4	×26,1	71,0	57,9	104,3	104,3	
	в. 0,21	2	×9,4	0	26,1	6,2	×29,3	71,0	55,5	100,0	100,0	$L_{разгр}=\frac{2}{3}L_{наб}$
	г. 0,21	3	×9,4	0	26,1	[×] 6,2	×29,3	71,0	56,4	101,6	101,6	
II	а. 0,15	2	×13,1	3,7	26,1	13,1	×29,8	85,8	69,7	107,7	125,6	$L_{разгр}=L_{наб}$
	б. 0,15	3	×13,1	3,7	26,1	×13,1	×29,8	85,8	68,3	105,5	123,1	
	в. 0,15	5	×13,1	[×] 3,7	×26,1	×13,1	×29,8	85,8	72,5	112,0	129,0	
	г. 0,15	2	×13,1	3,7	26,1	6,5	×36,4	85,8	64,7	100,0	116,6	$L_{разгр}=0,5L_{наб}$
	д. 0,15	3	×13,1	3,7	26,1	[×] 6,5	×36,4	85,8	65,7	101,5	118,4	
	е. 0,15	5	×13,1	[×] 3,7	×26,1	[×] 6,5	×36,4	85,8	69,7	107,7	125,6	
III	а. 0,10	2	×19,7	10,3	26,1	19,7	×36,4	112,2	91,0	113,2	164,0	$L_{разгр}=L_{наб}$
	б. 0,10	3	×19,7	10,3	26,1	×19,7	×36,4	112,2	87,8	109,2	158,2	
	в. 0,10	5	×19,7	×10,3	×26,1	×19,7	×36,4	112,2	86,8	108,0	156,5	
	г. 0,10	2	×19,7	10,3	26,1	6,5	×49,6	112,2	81,0	100,7	146,0	$L_{разгр}=0,36\ L_{наб}$
	д. 0,10	3	×19,7	10,3	26,1	6,5	×49,6	112,2	82,0	102,0	147,7	
	е. 0,10	4	×19,7	×10,3	×26,1	[×] 6,5	×49,6	112,2	80,4	100,0	156,4	
IV	а. 0,05	2	×39,3	29,9	26,1	×39,3	×56,0	190,6	161,8	140,2	291,5	$L_{разгр}=L_{наб}$
	б. 0,05	3	×39,3	×29,9	26,1	×39,3	×56,0	190,6	150,5	130,4	271,2	
	в. 0,05	5	×39,3	29,9	26,1	×39,3	×56,0	190,6	136,5	118,3	246,0	
	г. 0,05	2	×39,3	29,9	26,1	6,6	×88,7	190,6	129,4	112,1	233,4	$L_{разгр}=0,17\ L_{наб}$
	д. 0,05	3	×39,3	29,9	26,1	6,6	×88,7	190,6	130,4	113,0	235,2	
	е. 0,05	4	×39,3	×29,9	×26,1	[×] 6,6	×88,7	190,6	115,4	100,0	207,9	

Примечание. Крестиком × обозначены полезные переключения; значком [×] — излишние переключения.

В связи с изменением $h_{стр}$ изменяется длина набора от оптимальной $L_{наб}=9,4$ *м* при $h_{стр}=0,21$ *м* до 39,3 *м*, при $h_{стр}=0,05$ *м*. Длина $L_{гр.\ гор}$, величина которой является одним из показателей качества принятой схемы, изменяется от 0 при $h_{стр}=0,21$ *м* до 29,9 *м* при $h_{стр}$ 0,05 *м*. Длина разгрузки $L_{разгр}$ в разных вариантах изменяется от $L_{наб}$ до 0,17 $L_{наб}$.

Рассмотрение данных таблицы 6 позволяет сделать следующие выводы.

1. Обобщенным критерием для суждения о технико-экономической рациональности отдельных схем является приведенная длина кольца $L_{кол.\ прив}$, которая изменяется от 100 до 291,5% в зависимости от величины $h_{стр}$. Это показывает целесообразность предложенного нами критерия $L_{кол.\ прив}$.

2. Для каждой лучшей схемы внутри различных рассмотренных четырех групп значений $h_{стр}$ длины $L_{кол.\ прив}$ быстро возрастают с уменьшением $h_{стр}$ против оптимума (на 16,6% при $h_{стр}=0,15$ *м*, на 56,4% при $h_{стр}=0,10$ *м* и на 107,9% при $h_{стр}=0,05$ *м*). Как было уже ранее указано, это связано с соответствующим уменьшением производительности скреперов при прочих одинаковых условиях работы.

Поэтому при *эллиптических схемах с поперечной отвозкой нужно обращать самое серьезное внимание на проведение мероприятий, направленных на повышение $h_{стр}$ до его оптимальных значений.*

К сожалению, этот важнейший фактор повышения производительности до сих пор слабо учитывается на стройках.

Специальное обследование 56 скреперов[1] показало, что при разработке сухих супесей и пылеватых суглинков $h_{стр} = 2 \div 3$ *см*, а при разработке тяжелых суглинков средней влажности $h_{стр} = 4 \div 5$ *см*; длина набора в первом случае равнялась 50—80 *м*, а во втором 35—45 *м*.

Хронометражные обследования работы скреперов Д-147 на двух объектах Куйбышевгидростроя при разработке суглинка с примесью ила с замороженной коркой и супеси показали, что в первом случае толщина земляной стружки $h_{стр}$ у разных трактористов изменялась от 2,1 до 4,8 *см*, а во втором — от 3,7 до 4,5 *см*. Мероприятий по увеличению толщины стружки (рыхление, ножи, зубья и пр.) не применялись; имелось много и других серьезных недостатков в организации работ.

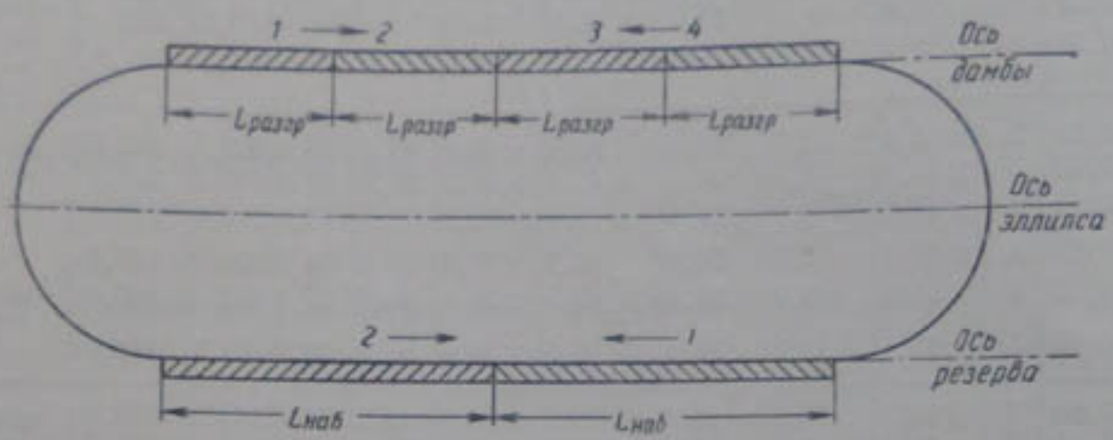


Рис. 36. Эллиптическая схема при $L_{разгр} = {}^1/_3\ L_{наб}$.

Анализ работы показал возможность повышения производительности скреперов в 3—3,5 раза.

3. Уменьшение длины разгрузки сопровождается увеличением порожнего хода, на пути которого скрепер может развивать более высокие скорости движения, чем на остальных частях кольца, что позволяет повышать производительность скреперов на 4—18%; положительное влияние этого фактора сказывается тем сильнее, чем меньше $h_{стр}$ (т. е. при увеличении длины кольца).

По указанной причине разгрузку выгоднее производить при $L_{разгр} < L_{наб}$, например по схеме, изображенной на рисунке 36.

При разгрузке на средних участках рационально делать три переключения.

§ 15. ФОРМА КОЛЬЦА

Для получения эллиптической поперечной схемы с минимальной величиной $L_{дал}$ нужно не только обеспечить минимальную длину резерва $L_{рез}$, но и наименьшее расстояние между осями резерва (выемки) и отсыпаемой дамбы (кавальера) B.

Минимальное значение B получается при сопряжении оси резерва и дамбы полуокружностью, описанной наименьшим радиусом поворота скрепера (для скрепера Д-147 наименьший радиус поворота $R = 5{,}33$ *м*).

При $i_{рук} = 0{,}300$ (для Д-147)

$$h_{нас} + h_{рез} = \pi R i_{рук} = 5{,}0\ м.$$

Если $h_{нас} + h_{рез} > 5$ *м*, то нужно принять схему по рисунку 23, *б* или по восьмерке (рис. 23, *г*).

---

[1] Ю. Б. Дейнего. Обследование машин для земляных работ. «Механизация строительства» № 2, 1950.

§ 16. ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ВЪЕЗДОВ И СЪЕЗДОВ ПРИ ПОПЕРЕЧНОЙ ОТВОЗКЕ

При минимальной длине отдельных боковых резервов число и удельная кубатура въездов и съездов получаются наибольшими. Удельный объем въездов и съездов, т. е. объем их, отнесенный к 1 $м^3$ разработанного резерва, уменьшается с увеличением длины и кубатуры резервов, но зато в этом случае повышается $L_{дал}$ и стоимость разработки 1 $м^3$. Результаты расчетов приведены на графике (рис. 37), из которого видно, что при величине

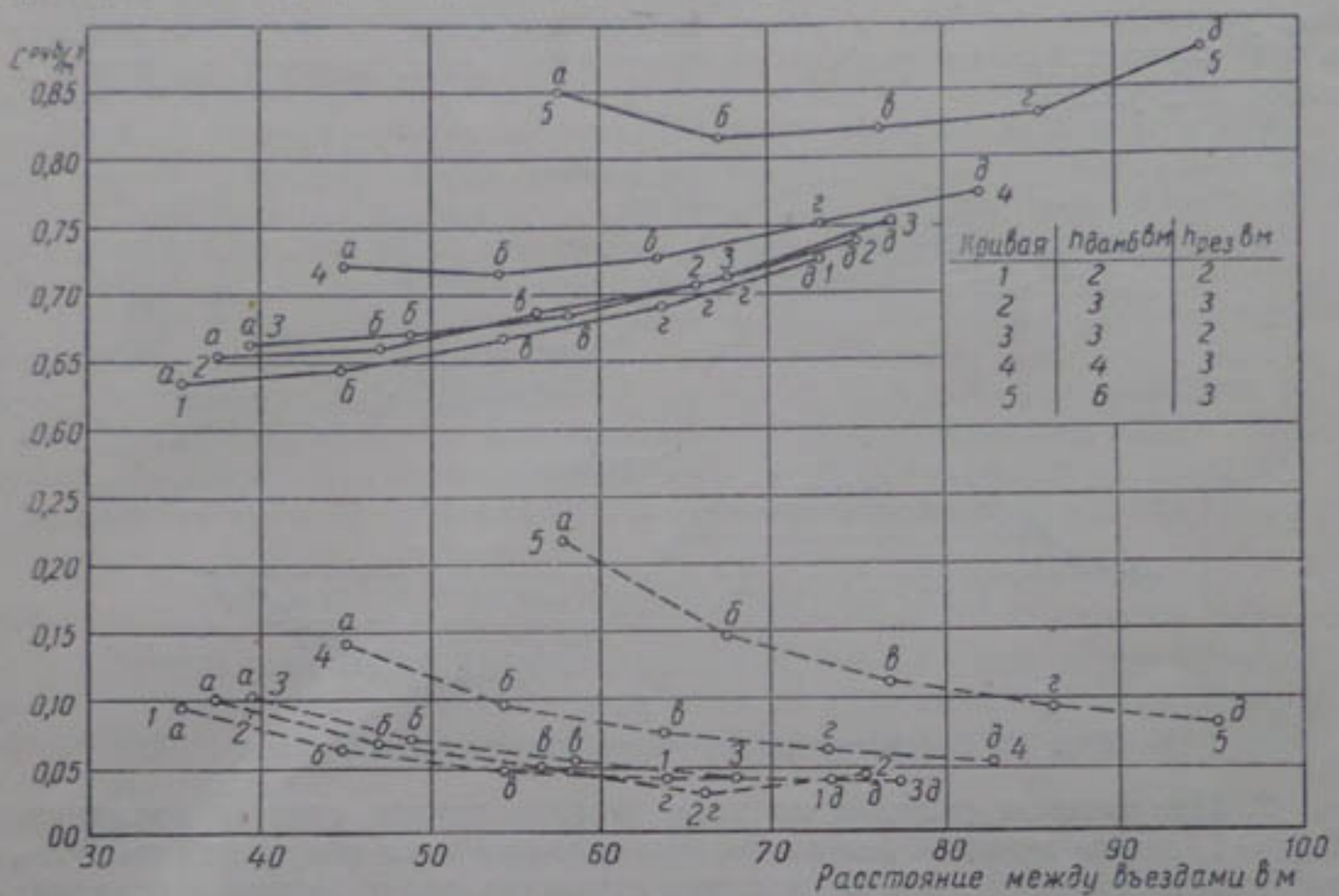


Рис. 37. Влияние расстояний между въездами на стоимость 1 $м^3$ разрабатываемого грунта; точки *а*, *б*, *в*, *г*, *д* соответствуют $L_{рез}=2L_{наб}$; $3L_{наб}$; $4L_{наб}$; $5L_{наб}$, $6L_{наб}$. Сплошные линии—суммарная стоимость разработки грунта и устройства въездов; штриховые линии—стоимость устройства въезда на 1 $м^3$ резерва.

$h_{нас}+h_{рез}$, равной 4, 5 и 6 *м*, суммарная стоимость разработки с учетом стоимости въездов (сплошные кривые *1*, *2* и *3*) получается наименьшей при $L_{рез}=2L_{наб}$ (точка *а*).

При $h_{нас}+h_{рез}=7$ *м* (кривая *4*) стоимость разработки с учетом въездов и съездов практически одинакова при величинах $L_{рез}=2L_{наб}$; $L_{рез}=3L_{наб}$ и $L_{рез}=4L_{наб}$ (точки *а*, *б* и *в*).

При $h_{нас}+h_{рез}=9$ *м* (кривая *5*) наименьшая стоимость разработки с учетом въездов получается при $L_{рез}=3L_{наб}$ (точка *б*).

В этих расчетах принималось, что въезды и съезды являются дополнительной кубатурой. В действительности же въезды частично располагаются на месте будущих дамб и входят в объем последних.

Поэтому наивыгоднейшей длиной резерва будет $L_{рез}=2L_{наб}$. В пользу этого решения говорит и то, что при этом $П=П_{макс}$.

§ 17. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАЦИОНАЛИЗАЦИИ РАБОТ ПРИ ПОПЕРЕЧНОЙ ВОЗКЕ

1. Для уменьшения длины резерва при поперечной возке следует его разрабатывать (в пределах отдельных эллипсов) горизонтальными участками, что позволяет вести разработку в двух направлениях и уменьшить

длину резерва на величину ($L_{\text{поезд}} - l_{\text{сц}}$) по сравнению с односторонней разработкой.

При двусторонней разработке уменьшается износ ходовых частей, так как агрегат поворачивается попеременно то в одну, то в другую сторону. Передовые трактористы работают по двусторонней системе разработки. При продольной возке, если резерв расположен выше места разгрузки, можно производить резание под уклон (рис. 38), в этом случае сопротивление движению уменьшается. Опыты на Волгодонстрое показали, что при переходе на наклонные забои в грунтах III категории толщина стружки $h_{\text{стр}}$ увеличилась на 85%, а время набора сократилось на 40%. Поэтому в тех случаях, когда рельеф местности позволяет, следует производить набор под уклон.

Рис. 38. Набор грунта скрепером при продольной возке.

2. При тяговых расчетах на этапе резания грунта следует принимать $K_{\text{нап}} = 1$, а еще лучше с «шапкой», так как при этом получается наибольшая производительность и наименьшая стоимость работ; такова и практика передовых трактористов.

3. Наименьшая длина резерва $L_{\text{рез}}$ получается при $L_{\text{рез}} = 2L_{\text{наб}}$, а оптимальная длина набора $L_{\text{опт. наб.}} = L_{\text{поезд}} - l_{\text{сц}}$; при этом оптимальная толщина стружки $h_{\text{стр. опт}}$ для разных грунтов и при скрепере Д-147 получается 0,20 — 0,21 *м*, а длина $L_{\text{рез. опт}}$ достигает абсолютного минимума. Величина $L_{\text{рез. опт}}$ не зависит от категории грунта.

4. Уменьшение $h_{\text{стр}}$ против оптимума крайне нежелательно, так как при $h_{\text{стр}} = 0{,}15$, 0,10 и 0,05 *м* $L_{\text{кол. прив}}$ и $T_{\text{ц}}$ увеличивается соответственно на 16,6; 56,4 и 107,9% по сравнению с оптимальной толщиной стружки (см. табл. 6).

5. Если при $h_{\text{стр. опт}}$ сумма сопротивлений больше $F_{\text{ср}}$, то для сбалансирования сопротивлений нужно не уменьшать $h_{\text{стр. опт}}$, а применять ножи с зубьями, ножи с выступающей средней частью, производить предварительное рыхление грунта, а также уменьшать удельные сопротивления W улучшением путей движения скреперов.

6. Сила тяги на крюке $F_{\text{кр}}$ является переменной в зависимости от удельных сопротивлений пути; поэтому ее нужно брать не из справочников, а определять по формуле, по касательной силе на гусеницах трактора.

7. Так как скрепер движется в течение цикла с разными скоростями, то время цикла не прямо пропорционально дальности возки и длине кольца. Более показательной является «приведенная длина» кольца $L_{\text{кол. прив}}$.

8. Для получения минимальной длины кольца нужно не только обеспечить минимальную длину резерва $L_{\text{рез. мин}}$, но и наименьшее расстояние $B_{\text{мин}}$ между осями резерва и дамбы. $B_{\text{мин}}$ получается при сопряжении осей резерва

и дамбы полуокружностью, описанной минимальным радиусом поворота скрепера. Для скрепера Д-147 наименьший радиус поворота равен 5,33 *м*, при этом $D=2R_{пов}$ (рис. 23, *а*).

9. Разгружать скрепер следует на возможно меньшей длине, так как увеличение $l_{разгр}$ уменьшает длину порожнего хода, проходимого с бо́льшими скоростями, чем при разгрузке. Минимальная длина разгрузки 5,8 *м* (для Д-147) получается при максимальной конструктивной толщине разгружаемого слоя, равной 0,4 *м*. При увеличении $L_{разгр}$ до величины $L_{наб}$ приведенная длина кольца увеличивается на 4—5% при $h_{стр}$, равной 0,20 и 0,15 *м*, и до 18% при $h_{стр}=0{,}05$ *м* (см. табл. 6).

10. Для уменьшения $T_п$ переключения следует делать лишь тогда, когда экономия времени при прохождении с более высокими скоростями участка, следующего за переключением, больше потерь времени на переключения. Переключение выгодно делать перед участком длиной менее 10 *м*. При $h_{стр}$, равной 0,21, 0,20, 0,15 и $l_{разгр}=9$ *м*, целесообразно при поперечной возке делать во время цикла только два переключения: одно перед началом порожнего хода и другое после его окончания (перед началом набора).

11. При минимальной дальности возки длины боковых резервов также получаются минимальными, а число и кубатура въездов достигают максимума. Учитывая, однако, что часть грунта из резервов укладывается на месте будущих дамб и что максимальная производительность имеет место при $L_{зал.\ мин.}$, наиболее целесообразно с технико-экономической точки зрения отдельные резервы (в пределах эллипсов) назначать длиной, равной $2L_{наб}$.

§ 18. БУНКЕРНО-ТРАНСПОРТЕРНАЯ СХЕМА

Стоимость разработки грунта скреперами весьма низка и значительно ниже стоимости экскаваторной разработки, а стоимость транспортировки грунта очень высока и значительно выше стоимости транспортировки авто-

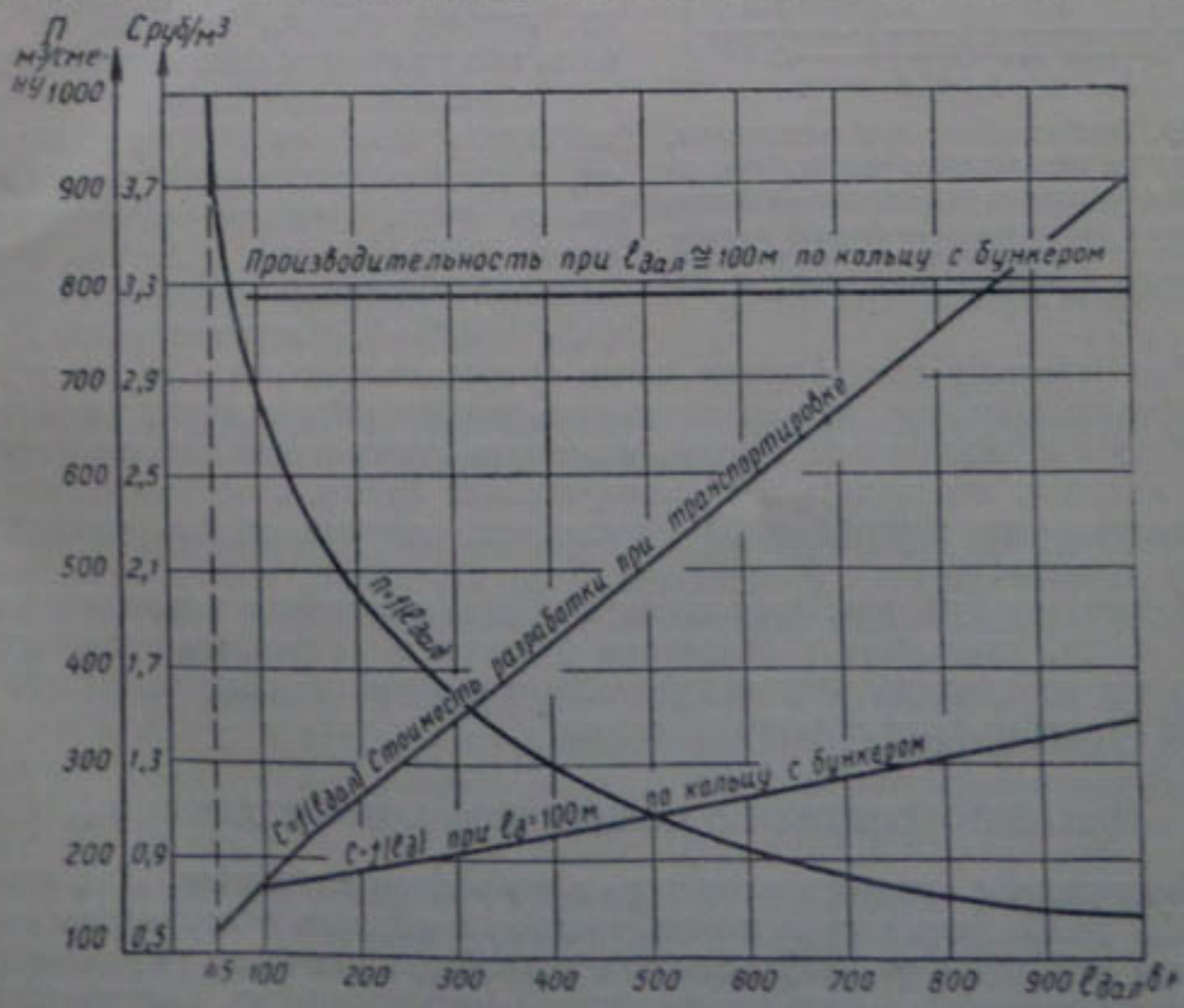


Рис. 39. График производительности *П* скрепера Д-147 и стоимости *с* разработки 1 *м*³ грунта в зависимости от дальности возки при безбункерной и бункерно-транспортерной схеме организации работ.

самосвалами, большегрузными прицепами Д-179А, ленточными транспортерами; следовательно, комбинированная работа с разработкой грунта скреперами и отвозкой его ленточными транспортерами, автотранспортерами, автосамосвалами или гидромеханическим способом является более экономичной, чем разработка грунтов экскаваторами с погрузкой в транспортные средства.

В основу бункерно-транспортерной схемы положена разработка грунта скреперами с разгрузкой грунта в бункер и дальнейшей его транспортировкой, например ленточными транспотерами.

Результаты технико-экономических расчетов по безбункерной и бункерно-транспортерной схемам при различных дальностях возки представлены на рисунке 39.

График показывает значительное повышение производительности и снижение стоимости при бункерно-транспортерной схеме по сравнению с безбункерной, а также быстрое возрастание преимуществ бункерно-транспортерной схемы по сравнению с безбункерной при увеличении $L_{дал}$.

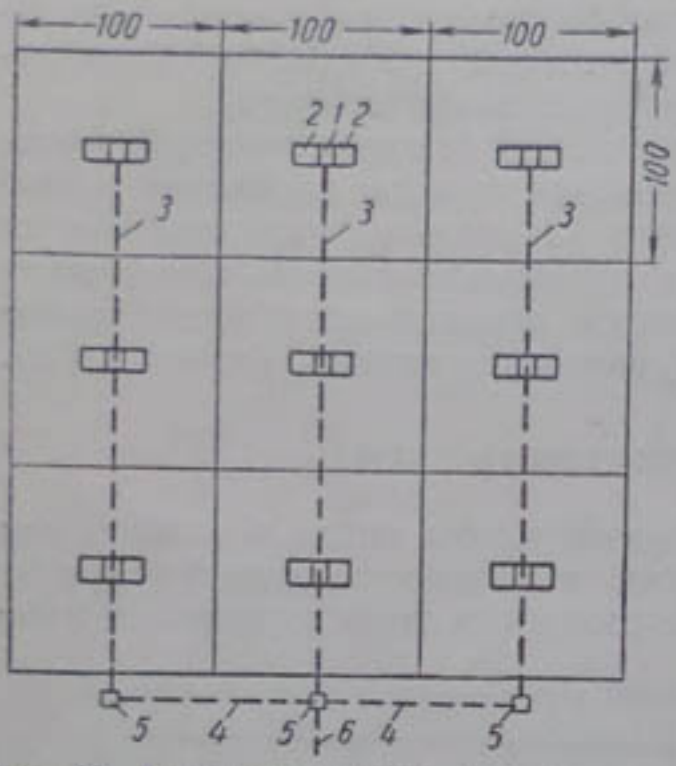


Рис. 40. Разбивка карьера (котлована, выемки) на отдельные участки, обслуживаемые с одного положения бункера:
1—бункер с питателем; *2*—эстакады; *3*—карьерный ленточный транспортер; *4*—поперечный транспортер; *5*—стационарный бункер; *6*—магистральный ленточный транспортер.

При разработке выемки (карьера) по бункерно-транспортерной схеме ее разбивают на отдельные площадки, на одной стороне которых устанавливают бункер-питатель с отходящим из-под него звеньевым ленточным транспортером, например Т-47.

Бункер может быть размещен в специальном, заранее отрываемом котловане.

Разрабатываемый котлован (выемку, карьер) следует разбить на квадраты или прямоугольники (рис. 40). Так как с уменьшением стороны квадрата дальность возки скрепером уменьшается, а производительность увеличивается, то и при бункерно-транспортерной схеме целесообразно работать с оптимальной толщиной срезаемой стружки ($h_{стр} = 0{,}20 \div 0{,}21$ *м* для скрепера Д-147).

При работах в зимнее время, когда прорезиненная лента делается хрупкой и часто лопается, нужно применять морозостойкие ленты, переходить либо, наконец, переходить к транспортировке грунта автосамосвалами или большегрузными прицепами. В последних случаях нужно увеличивать высоту бункера.

Недостаток бункерно-транспортерной схемы состоит в некотором осложнении работ, связанном с введением бункера и ленточного транспортера; однако эти осложнения вполне преодолимы и окупаются крупными достоинствами бункерно-транспортерной схемы.

§ 19. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА $K_{вр}$

Поддержание трактора и скрепера в исправном состоянии. Для повышения $K_{вр}$ необходимо поддерживать трактор и скрепер в исправном состоянии; это избавляет от необходимости аварийных ремонтов во время работ и обеспечивает наибольшую производительность скреперов. Передовые трактористы добиваются высоких значений $K_{вр}$—порядка 0,80—0,90, в то время как на Волгодонстрое в 1951 г. $K_{вр}$ составляло 0,477, а на Куйбышевгидрострое $K_{вр}$ осенью и зимой 1953 г. изменялось от 0,56 до 0,66.

Как показывает опыт передовых трактористов, повышение коэффициента $K_{вр}$ представляет собой значительный резерв увеличения производительности скреперов.

Для поддержания скреперов в исправном состоянии важное значение имеет внедрение системы планово-предупредительного ремонта. В период между сменами трактористы, сдающие и принимающие смену, должны совместно выполнять крепежный ремонт. Особое внимание должно быть обращено на качество ремонта.

Следует рекомендовать введение института трактористов-наставников, в обязанности которых должно входить наблюдение за работой отдельных трактористов, проверка ее и инструктаж.

Запасовка канатов блочной системы. Удлинение срока службы канатов существенно влияет на $K_{вр}$ скреперов. Повышенный износ канатов является результатом неправильного выбора диаметров, типов и марок канатов, а также плохого ухода за канатно-блочной системой. Недопустимо применение канатов бóльших диаметров, так как для них требуются и блоки бóльших диаметров; канаты бóльших диаметров портят блочную систему и работают только по 30—50 часов. Нельзя применять и канаты меньших диаметров, так как они часто рвутся и быстро выходят из строя. Наибольший срок службы обеспечивается канатами с жестким металлическим сердечником, долговечность которых в $1^1/_2$—2 раза выше, чем у обычно применяемых канатов с мягким сердечником[1].

Передовые трактористы удлиняют срок службы канатов путем сокращения времени их работы и уменьшения нагрузки на них; с этой целью даже во время кратковременных перерывов не оставляют ковш и заслонку подвешенными на канате, а по окончании резания ковш поднимают на минимальную высоту. Тщательно следят за состоянием блоков и полиспастов и немедленно устраняют замеченные дефекты; при отрыве отдельных жилок канатов их немедленно закрепляют. Канат систематически смазывают канатной мазью или вискозином; конец его, навивающийся на барабан лебедки, смазывают лишь незначительно, во избежание замасливания муфты и тормоза лебедки. Загрязненный канат промывают керосином и смазывают автолом. Средний расход каната для скрепера Д-147 составляет 12—18 пог. *м* на 1000 $м^3$ грунта. Для уменьшения расхода канатов весьма эффектна запасовка их длиной в $2^1/_2$—3 раза больше требуемой; остающаяся часть наматывается на барабаны, закрепляемые на скрепере. В этом случае при обрыве каната выбрасывается только оторвавшийся его конец, тогда как при обычной запасовке нужно заменять целиком весь канат.

§ 20. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА НАПОЛНЕНИЯ КОВША ГРУНТОМ $K_{нап}$

Увлажнение грунта. Как видно из графика (рис. 41), на величину $K_{нап}$ существенно влияет влажность разрабатываемого грунта[1]. При определенной для данного грунта оптимальной влажности $W_{опт}$ величина $K_{нап}$ получается максимальной.

Согласно графику, $W = 8\%$—для песков и супесей и $W = 14\%$—для суглинков. При разработке пересушенных грунтов сопротивления резанию увеличиваются; поэтому разработка их невыгодна как по причине уменьшения толщины земляной стружки $h_{стр}$, так и вследствие уменьшения наполнения ковша $K_{нап}$.

На суглинках и глинистых грунтах при влажности порядка 18% начинается налипание грунта на стенки и дно ковша, в результате чего сильно ухудшаются условия загрузки и особенно разгрузки. На тяжелых суглинках

---

[1] Ю. Б. Дейнего. Разработка и перемещение грунта скреперами и бульдозерами. Госстройиздат, 1952.

скрепер начинает увязать при влажности 23—25%, а на более слабых грунтах и при меньшей влажности.

При разработке сухих рыхлых песков и супесей удельные сопротивления движению увеличиваются по сравнению с нормально увлажненными грунтами; наконец, при разработке пылящих грунтов увлажнение их является мерой борьбы с пылью, вредно действующей на здоровье людей и ускоряющей износ машин.

Таким образом, влажность грунта оказывает существенное влияние не только на наполнение ковша, но и на его резание и транспортирование.

К сожалению, производственники не всегда уделяют внимание этому важному фактору.

Регулирование подъема заслонки. Передовые трактористы для повышения $K_{нап}$ скреперов Д-147 в первый период наполнения ($K_{нап} \simeq$ до 0,60), когда имеет место свободное проталкивание грунта по днищу ковша к задней стенке, поднимают заслонку ковша на 60—70 *см*.

Во второй период, когда ковш принудительно наполняется под действием напора срезаемого грунта, они опускают заслонку и оставляют зазор в 20—40 *см* между нею и ножом.

Борьба с потерями грунта при наборе. В 1953 г. на Сталинградстрое производились испытания скреперов Д-213 с ковшом емкостью 10 $м^3$, Д-189 с ковшом емкостью 15 $м^3$, Д-183, Д-222 и Д-188. Разрабатывались легкие супеси.

Наблюдения показали, что около 20% срезанного грунта попадает в призму волочения, около 50% поступает в боковые валики и только 30%—в ковш.

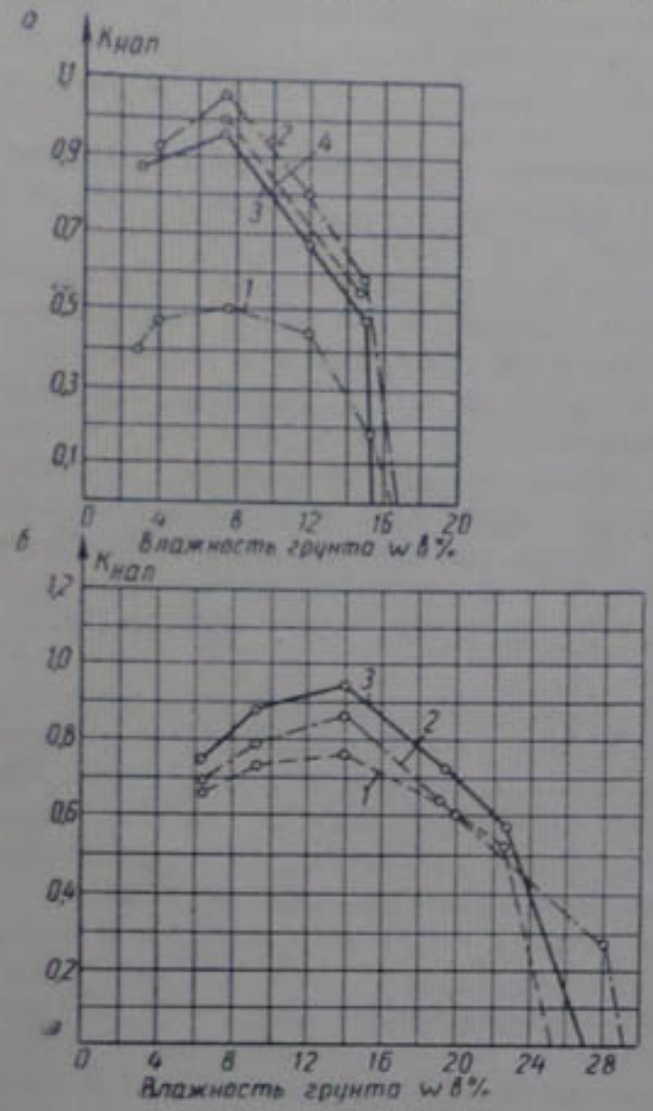


Рис. 47. Изменение коэффициента наполнения ковша скреперов в зависимости от влажности разрабатываемых грунтов:

а—работа на песке и легкой супеси: *1*—Д-188 (15-кубовый) без толкача; *2*—Д-188 (15-кубовый) с толкачом; *3*—Д-147 (6-кубовый) без толкача; *4*—Д-222 (7-кубовый) без толкача. *б*—работа на суглинке: *1*—Д-213 (10-кубовый) без толкача; *2*—Д-213 (10-кубовый) с толкачом; *3*—Д-147 (6-кубовый) без толкача.

Для борьбы с потерями грунта по обе стороны ножа были прикреплены к продольным стенкам ковша боковые щиты (щитки ВНИОМСа), препятствующие перемещению грунта из призмы волочения в боковые валики. Эти щитки являются как бы продолжением боковых стенок ковша. Боковой щиток к скреперу Д-147 длиной 1,6 *м* прикрепляется болтами в нижней своей части к месту крепления бокового ножа, а в верхней—к боковой стенке ковша; щиток усилен ребрами жесткости; между нижней частью щитка и ковшом устанавливается просвет толщиной 30 *мм*. Применение щитков повысило $K_{нап}$ на 20—25%, уменьшило длину набора с 30 до 17 *м* и увеличило производительность на 50%.

Вторым источником потерь была утечка срезанного грунта в щель между заслонкой и ковшом, так как заслонка не обладает достаточным весом, чтобы перерезать грунт, находящийся в момент окончания наполнения между заслонкой и ковшом скрепера. Для ликвидации этих потерь В. А. Шнейдер предложил снабдить скреперы механизмом принудительного закрытия заслонки или придать ей такую форму и пути закрытия, которые обеспечили

бы полное поступление в ковш грунта из призмы волочения. Третий источник потерь—утечка грунта из ковша через щели между заслонкой и боковыми стенками ковша.

Наконец, наблюдалось пересыпание грунта через заднюю и боковые стенки и через заслонку. Эти потери могут быть ликвидированы наращиванием стенок ковша в местах пересыпания грунта.

§ 21. ПРОЧИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО РАЦИОНАЛИЗАЦИИ РАБОТ

Работа в ночное время. В ночное время участки работ должны быть освещены достаточно и равномерно, так чтобы свет не мешал трактористам. Для освещения применяются прожекторы с лампами от 150 до 1000 *вт*, устанавливаемые на деревянных или металлических передвижных 4—6-метровых вышках. Осветительную аппаратуру и электрооборудование тракторов следует содержать в полной исправности, чтобы путь движения агрегата и его основные рабочие узлы были освещены.

Во время работы ночью желательно устанавливать фары и на скреперах. Работать ночью на косогорах и участках с большими уклонами не рекомендуется.

Работа в зимнее время. Работа скреперов зимой должна быть обязательно непрерывной, чтобы сохранять в забое слой незамерзающего грунта и обеспечивать равномерное снятие его по всему фронту.

Для уменьшения глубины промерзания грунта в забое необходимо еще с осени глубоко вспахать или разрыхлить грунт с последующим боронованием. В зимних условиях промерзший грунт рыхлят на большую глубину взрывным способом. Производительность скреперов зимой зависит от качества взрывных работ. Более мелкое и равномерное раздробление грунта улучшает наполнение ковша и повышает производительность агрегата.

Перед началом каждой смены необходимо удалять снег из забоев, въездов и съездов, так как он мешает наполнению ковша и является причиной буксования трактора. При выборе объектов для зимних работ следует учитывать, что наиболее успешно разрабатываются сухие малосвязные грунты и что работа на очень влажных грунтах затруднительна.

На работах, выполняемых зимой, следует выделять бригаду подсобных рабочих для периодической очистки ковшей от намерзающего грунта.

Возможность использования скреперов в зимнее время показал опыт Волгодонстроя. Однако стоимость зимних работ значительно выше летних из-за рыхления грунта взрывами и пониженной производительности машин.

Работа весной и осенью. Основным затруднением в работе весной и осенью является переувлажненность разрабатываемых грунтов. Поэтому необходимо устройство нагорных канав вокруг выемок, карьеров и резервов, организация водоотводов.

Нормальное давление в шинах скреперов надо поддерживать постоянно согласно требованию инструкции в зависимости от температуры воздуха и условий работы. Особенно вредна недостаточная накачка шин. Она приводит к быстрому износу и выходу их из строя. Кроме того, при работе на недостаточно накаченных шинах возрастает сопротивление движению.

Нормальное давление в шинах скреперов с ковшом емкостью 1,5—2,75 $м^3$ составляет 5—5,5 *атм*, 6—8 $м^3$—5,5—6 *атм*, 10 и 15 $м^3$ (скреперы Д-213 и Д-188) 4,5—5 *атм*.

Необходимо регулярно и внимательно осматривать шины и выяснять, нет ли на них прорезов, разрывов и других повреждений; обнаружив таковые, следует сменить шину, чтобы не допускать нарастания повреждений.

Нормальный срок работы шин скреперов при соблюдении правил ухода за ними 3—5 лет.

Учет работы должен своевременно и точно выявлять объем бригадных, сменных и индивидуальных выработок трактористов. Учет ведется двумя способами: оперативным и инструментальным. При оперативном учете

в процессе работы учетчик должен не только отмечать число рейсов каждой машины, но и степень наполнения ковша (с шапкой, недогруз). Введение этого требования резко повысило производительность труда трактористов, которые стали наполнять скрепер только «с шапкой»[1]. При оперативном учете отмечаются также дальность возки, число отработанных машино-часов, количество пройденных километров и другие показатели.

Данные оперативного учета должны вывешиваться ежедневно на доске показателей. Полезно составлять графики ежесменного выполнения норм отдельными работниками, отражающие ход соревнования между ними, а также месячные графики нарастающего выполнения плана.

Инструментальный обмер для денежных и других расчетов производится на стройках один или два раза в месяц. По нему учитывают кубатуру выполненных работ несколькими скреперами, работавшими на определенном участке. Индивидуальная выработка отдельных трактористов учитывается также по данным оперативных замеров и по табелям работ.

Хозрасчетная система. Введение хозрасчета в экскаваторных бригадах показало, какое важное значение он имеет для выполнения и перевыполнения годовых норм выработки, снижения стоимости работ, экономии горючего, смазочных масел, канатов и других материалов. Бригадный хозрасчет способствует развитию инициативы трактористов, стимулирует интерес к рационализации работ и способствует повышению квалификации работников.

В тех же целях необходимо широкое внедрение хозрасчетной системы в бригадах, обслуживающих скреперы.

Популяризация достижений передовых трактористов и широкое внедрение в производство их опыта—важное средство повышения производительности труда. Для пропаганды передового опыта надо проводить производственные совещания и технические конференции с докладами о работе новаторов производства, издавать популярные брошюры, плакаты и памятки по вопросам рационализации работ.

§ 22. СОВРЕМЕННЫЕ ЗАРУБЕЖНЫЕ ТИПЫ СКРЕПЕРОВ

За последние два десятилетия за границей совершенствовали старые типы скреперов и создавали новые, в частности самоходные скреперы, обладающие большой скоростью и повышенной производительностью.

Задачи повышения производительности и снижения стоимости работ раньше решались за рубежом главным образом путем увеличения емкости ковша двухосных скреперов и мощности гусеничных тракторов. В настоящее время в США скреперы с ковшами емкостью от 2,7 до 11,5 $м^3$ на прицепе у гусеничных тракторов мощностью от 48 до 148 *л. с.* используются преимущественно для перемещения грунта на небольшие расстояния (200—300 *м*). Скорость движения таких агрегатов в тяжелых дорожных условиях не превышает 10 *км/час*. Двухосные скреперы с ковшами емкостью от 4,5 до 25,7 $м^3$ применяются в США также в сцепе с тракторами на пневмоколесном ходу мощностью от 122 до 450 *л. с.* Благодаря значительным скоростям (30—63 *км/час*) производительность скреперов повышается; становится рациональным применение их на более дальние расстояния. Привод на все колеса трактора и шины низкого давления придает агрегатам хорошую проходимость. Гусеничные и пневмоколесные тракторы используются также в качестве толкача[2].

Пневмоколесные тракторы работают в США и с другим прицепным и навесным оборудованием—бульдозерами, корчевателями-собирателями, кранами, снегоочистителями.

Стремление к повышению производительности машин привело к созданию одноосных скреперов полунавесного типа с седельными двухосными тягачами

---

[1] М. Н. Ритов. Стахановцы-трактористы на дорожных работах. Дориздат, М., 1952.

[2] М. И. Кривский, А. И. Сафронов. Из опыта зарубежной техники. Некоторые типы скреперов. «Гидротехническое строительство» № 5, 1955.

на пневмоколесном ходу. Своей передней частью скрепер опирается на тягач, что увеличивает сцепной вес тягача и повышает использование его тяговой силы. Уменьшение веса такого скрепера по сравнению с двухосным дает возможность увеличить емкость ковша, что вместе с большой скоростью способствует повышению производительности.

Для дальнейшего повышения сцепного веса агрегата, что имеет важное значение в тяжелых дорожных условиях, фирма Юклид выпускает скреперы с дополнительным двигателем в задней части машины; емкость ковша 13,7 $м^3$, мощность обоих двигателей 380 *л. с.*

За последние годы за границей большое применение получают самоходные скреперы на пневмоколесном ходу, представляющие собой двухосные агрегаты с колесами большого диаметра. Использование сцепного веса у этих скреперов более высокое, чем у скреперов с двухосными тягачами. Преимуществом их является меньший коэффициент тары и в соответствии с этим меньшая их стоимость по сравнению с двухосными скреперами с трактором. Благодаря указанным преимуществам самоходных скреперов и их быстроходности производительность их повысилась, а стоимость работ снизилась.

Кроме самоходных скреперов с ковшами емкостью 4,5 $м^3$, выпускаемых фирмой Летурно-Вестингауз к тягачам мощностью 122 *л. с.*, фирма Юклид начала выпускать самоходные скреперы с одноосными тягачами и дополнительными двигателями, что обеспечивает привод на обе оси; это обстоятельство повышает проходимость агрегатов. Для устранения неудобств, связанных с эксплуатацией двух двигателей, фирма Юклид изготовила экспериментальную модель самоходного скрепера с ковшом емкостью 13,7 $м^3$ с одним двигателем мощностью 300 *л. с.*, установленным сзади, с приводом на обе оси.

Фирма Летурно-Вестингауз выпустила самоходный скрепер с приводом на все колеса через трансмиссию от дизель-генератора, установленного на тягаче.

В Западной Германии фирма Мэнк начала выпускать самоходные двухосные агрегаты на гусеничном ходу, имеющие дополнительное оборудование бульдозера. Емкость ковша—6,5 $м^3$, мощность дизеля 110 *л. с.*, наибольшая скорость движения вперед 8 и назад 10,3 *км/час*. Ковш вмонтирован в самую машину, благодаря чему при наборе грунта возрастает сцепной вес машины; это обеспечивает лучшую проходимость агрегата и позволяет ему передвигаться по дорогам с меньшими коэффициентами сцепления. Агрегат имеет возможность работать без поворотов, челночным методом, так как задняя скорость у него больше передней. Благодаря этому сокращается дальность возки, что имеет особо важное значение при отвозке на небольшие расстояния, например во время снятия растительного слоя и при планировочных работах. По ориентировочным расчетам, при челночной работе повышение производительности агрегата может достигать 30% (при небольшой дальности возки); с увеличением дальности возки производительность снижается. В Западной Германии описанные типы скреперов применяют при дальности возки, равной 400—500 *м*.

Во Франции автоскреперы на пневмоколесном ходу выпускает фирма Бонди: емкость ковша 5 $м^3$, мощность двигателя 110 *л. с.*, наибольшая скорость движения вперед 26, назад 17 *км/час*. Агрегат трехосный, высокие задние скорости позволяют работать челночным методом (что предусмотрено и в конструкции агрегата) и при бо́льших дальностях возки, чем на скреперах с тягачами на гусеничном ходу; самый тип ходового пневмоколесного устройства делает этот скрепер менее пригодным для работы на переувлажненных глинистых грунтах.

Обобщая зарубежный опыт, представляющий для нас большой интерес, можно сделать следующие выводы.

1. Повышение производительности скреперов решается не увеличением емкости ковшей, а увеличением скоростей движения (до 40—60 *км/час*),

2. В соответствии с этим вместо тракторов используются тягачи с двигателями мощностью 100—450 *л. с.*; применяются агрегаты седельного типа, трехосные (как в нашем отечественном скрепере Д-189), либо двухосные.

3. Благодаря большим скоростям движения расширяется выгодная в технико-экономическом отношении дальность возки до 700 *м* и более, а производительность самоходных агрегатов при одной и той же дальности возки выше, чем прицепных, несмотря на меньший объем ковшей.

4. Характерным для самоходных скреперов является конструктивная возможность челночной работы без поворотов, что в ряде случаев позволяет существенно сокращать дальность возки и тем повышать производительность. Этому способствуют и более высокие скорости движения назад у некоторых агрегатов по сравнению со скоростями вперед.

§ 23. ПРИМЕНЕНИЕ СКРЕПЕРОВ НА ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ РАБОТАХ

Применение скреперов при разработке каналов лимитируется прежде всего габаритной шириной скреперов (от 2,05 до 3,50 *м*) и тракторов (1,9—2,7 *м*). При разработке котлованов, резервов и карьеров ширина скреперов не имеет значения.

Можно наметить следующие области применения скреперов на гидромелиоративных работах.

1. Поперечная разработка неглубоких выемок магистральных каналов в холостой и рабочей частях, водосборных и сбросных коллекторов с отвозкой в невысокие кавальеры или дамбы.

2. Продольная разработка выемок магистральных каналов в холостой части, водосборных и сбросных коллекторов, судоходных каналов, подводящих и отводящих каналов к гидроузлам и гидростанциям, а также котлованов гидросооружений с отвозкой грунта на расстояние до 500 *м*. Размеры котлованов, расстояние между выездами из каналов и глубина их могут лимитировать применение скреперов по максимальной допустимой дальности возки.

3. Разработка глубоких и больших по размерам котлованов и выемок каналов в случае возможности устройства перегрузочного узла с передачей грунта, например, на ленточные транспортеры (бункерно-транспортерная схема организации работ). В этом случае применение скреперов не лимитируется ни глубиной котлованов и выемок, ни их размерами (кроме минимальных по габаритам скреперов и тракторов).

4. Поперечная разработка грунта из резервов в дамбы, если ширина дамб по верху достаточна для прохода скреперов.

5. Разработка вскрыши карьеров, а также самих карьеров.

6. Разработка выемок и отсыпка насыпей на постройке железных, шоссейных и грунтовых дорог как для построечных целей, так и для освоения мелиорируемых земель.

7. При планировке орошаемых площадей скрепер является одной из основных машин.

При постройке каналов осушительных систем скреперы обычно не применяют вследствие большого давления на грунт (особенно самого скрепера).

Глава V

НОЖЕВЫЕ ГРЕЙДЕРЫ И ИХ РАБОТА

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ, ТИПЫ ГРЕЙДЕРОВ

Грейдерами называются прицепные машины с ножом длиной 2,50—4,50 *м*, срезающим грунт слоями толщиной до 30 *см* и передвигающим его на расстояние 0,8—1,5 *м*. Грейдер был изобретен в семидесятых годах прошлого столетия и получил широкое распространение на дорожных, затем на гидромелиоративных и гидротехнических работах.

Согласно ГОСТ 834—51 прицепные грейдеры, в зависимости от размеров рабочего органа (отвала с ножом), разделяются на два типа: легкие с ножом длиной 2,5—3 *м* и тяжелые с ножом длиной 3,5—4,5 *м*.

Наибольшее распространение на гидромелиоративных работах получили тяжелые грейдеры Д-20А и Д-20Б, которые по внешнему виду и конструктивной схеме похожи друг на друга. Грейдер Д-20Б усовершенствован по сравнению с грейдером Д-20А, который снят с производства; в частности, в нем предусмотрена возможность замены металлических колес пневматическими.

Управление рабочими органами прицепных грейдеров обычно производится механизмами с ручным приводом. Выпускаемый нашей промышленностью легкий грейдер Д-241 работает на прицепе у трактора ДТ-54.

Грейдеры могут выполнять следующие работы: 1) отрывка небольших оросительных и водоотводных каналов глубиной в выемке до 0,7—0,8 *м* или общей глубиной до 1,3 *м*, шириной по дну до 0,8 *м* и заложением откосов не менее 1 : 1, 25; 2) возведение насыпей высотой до 1 *м* из боковых резервов; 3) планировка дна выемок и резервов с приданием им необходимых поперечных и продольных уклонов, а также планировка насыпей поверху; 4) планировка откосов выемок и насыпей; 5) планировка орошаемых площадей; 6) очистка оросительных и осушительных каналов; 7) устройство и профилирование в равнинной местности полотна автодорог, в том числе землевозных, с разработкой треугольных или трапецеидальных кюветов; 8) выработка в готовом земляном полотне корыта под дорожное покрытие; 9) разравнивание песка, гравия и щебня при постройке дорог, а также разравнивание грунтов в процессе отсыпки насыпей и отвалов; 10) перемешивание на дорожном полотне грунта и гравийных материалов с добавками и вяжущими; 11) ремонт и содержание грунтовых и гравийных дорог, в том числе землевозных; 12) очистка дорог от снега.

Работы по разравниванию насыпей, планировке дна можно производить грейдерами лишь в том случае, если ширина дамб и выемок достаточна для прохода грейдера и трактора, т. е. не менее 3 *м*.

При разравнивании насыпей, планировке выемок и резервов грейдеры используют как вспомогательную машину, ведущей же является землеройная машина. При отрывке мелких каналов, отсыпке дамб из резервов и на дорожных работах грейдер является основной машиной строительного процесса.

§ 2. ТЯЖЕЛЫЙ ГРЕЙДЕР Д-20Б И АВТОГРЕЙДЕРЫ

К основным частям грейдера (рис. 42) относятся рама *6*, тяговая рама *11*, рабочее и ходовое оборудование, дышло *8* и механизмы управления. Рабочее оборудование состоит из отвала *13* с ножом, поворотного круга *12*, съемного удлинителя отвала, откосника, планировщика откосов, кирковщика и смесителя.

Основная рама *6*, изготовленная из профильной стали, соединяется с передней осью при помощи шаровой пяты; опираясь на заднюю ось в двух точках, рама может перемещаться по ней вправо и влево. Это необходимо для того, чтобы задние колеса не попадали на валик отваливаемого грунта.

Для повышения устойчивости грейдера при работе на местности с заметным поперечным уклоном, а также в тех случаях, когда одни колеса расположены на поверхности земли, а другие на дне выемки или резерва, в тяжелых грейдерах применено специальное устройство задней и передней осей, позволяющее при помощи механизмов устанавливать колеса с наклоном до 36°. Ходовое устройство состоит из двух пар колес *10* и *16* с гладкими стальными ободьями; диаметр передних колес 900 *мм*, задних 1100, расстояние между ними 5300, колея переднего хода 1726 и заднего 2512 *мм*.

При транспортировании грейдера металлические колеса заменяются пневматическими.

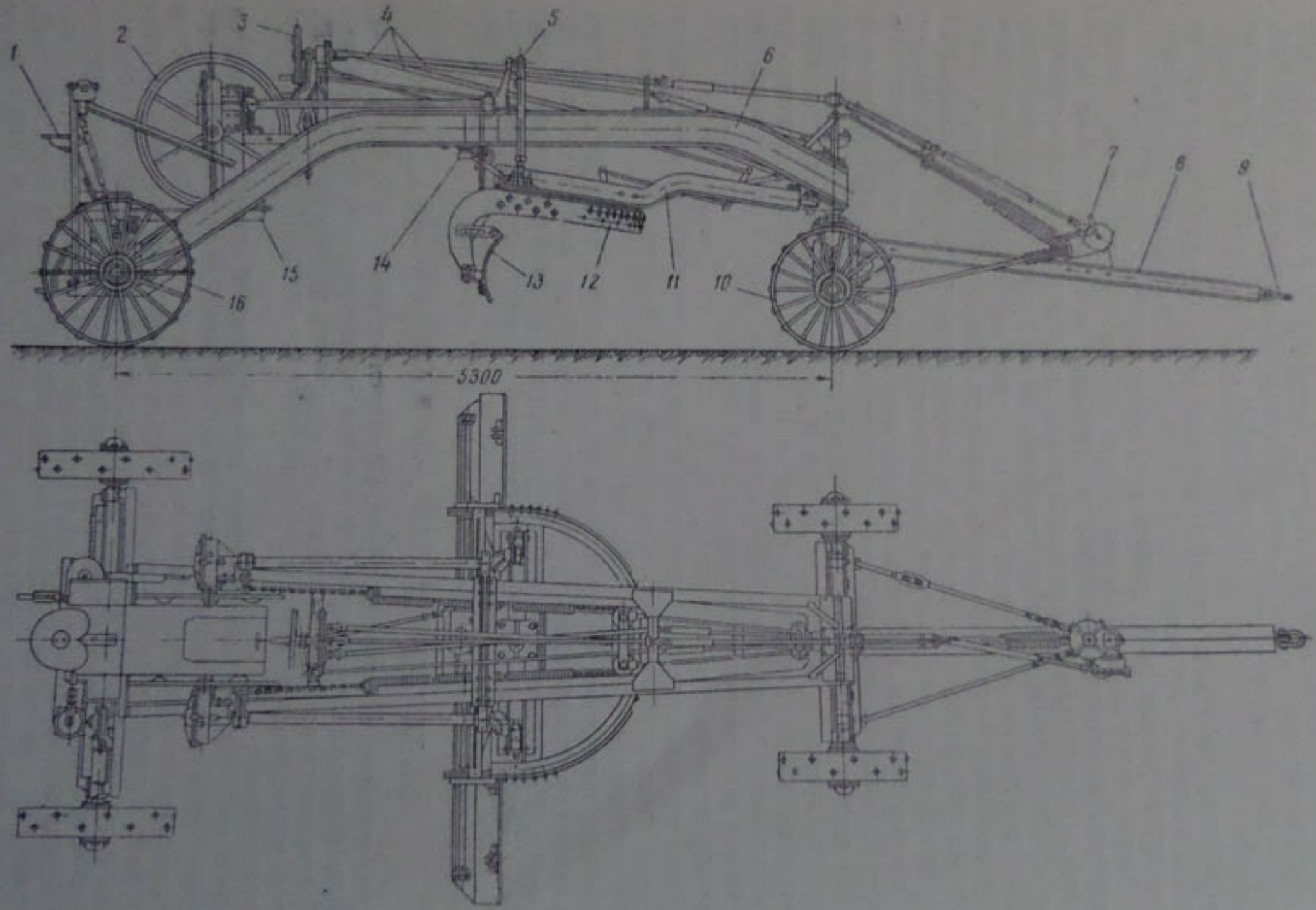


Рис. 42. Тяжелый прицепной грейдер Д-20Б:

1—сиденье грейдериста; *2*—штурвалы подъема отвала; *3*—штурвал дышла; *4*—карданные валы; *5*—подъемные механизмы отвала; *6*—рама ; *7*—механизм поворота дышла; *8*—дышло; *9*—сцепное устройство; *10*—передние колеса; *11*—тяговая рама; *12*—поворотный круг; *13*—отвал; *14*—механизм бокового выноса отвала; *15*—рабочая площадка; *16*—задние колеса.

Рабочий орган грейдера—съемный нож криволинейной формы; он изготовляется из высокоуглеродистой стали и крепится к отвалу при помощи болтов. Для повышения износостойкости лезвие ножа наплавляется твердым сплавом.

Длина отвала 3700 *мм*, а с удлинителем 4500 *мм*. Продолжительность службы обычных ножей от 100 до 500 часов при работе в грунтах I, II, III категорий без камней. Увеличения срока службы ножей в тяжелых грунтах можно добиться при предварительном рыхлении. Ножи грейдеров Д-205 и Д-241 имеют двустороннюю заточку, что увеличивает вдвое срок их службы.

Максимальная высота подъема ножа над поверхностью земли 0,30 *м*. Вынос ножа в сторону возможен на 460 *мм*, а с перестановкой отвала—на 540 *мм*.

Отвал с ножом имеет четыре установки: поворот отвала в горизонтальной плоскости, подъем и опускание его, изменение угла резания и вынос отвала вместе с поворотным кругом и тяговой рамой в сторону.

Поворот отвала в горизонтальной плоскости (рис. 43, *а*) характеризуется углом α, который изменяется в пределах 28—90°; в зависимости от угла α изменяется ширина захвата ножом и скорость перемещения грунта вдоль отвала. Поворот отвала производится поворотным кругом. Подъем и опускание отвала (рис. 43, *б*) характеризуется углом зарезания β, который изменяется в пределах 0—70°. Угол зарезания изменяется с помощью механизма подъема и опускания отвала.

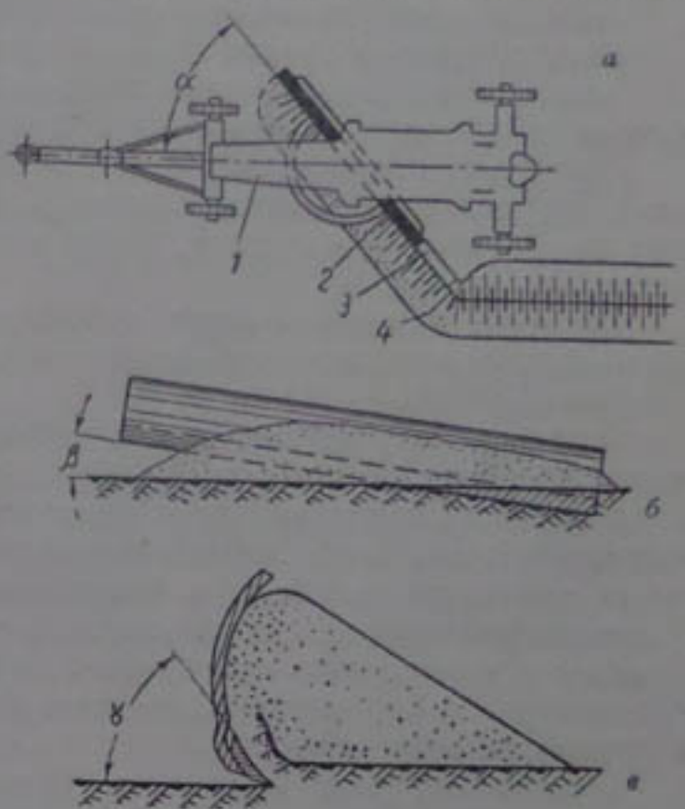


Рис. 43. Углы установки ножа грейдера:
1—грейдер; *2*—отвал грейдера; *3* удлинитель; *4*—валик отсыпаемого грунта.

Изменение угла резания ножа (рис. 43, *в*) характеризуется углом γ, который колеблется в пределах 24—70°. Изменение угла резания осуществляется перестановкой (вручную) отвала по отношению к кронштейнам поворотного круга.

Вынос отвала в сторону производится вращением тяговой рамы в горизонтальной плоскости вокруг шарнирного крепления у пкворня.

Поворотный круг может вращаться в горизонтальной плоскости по отношению к тяговой раме, что позволяет отвалу с ножом, закрепленному на поворотном круге, производить пространственное перемещение для необходимой установки ножа грейдера.

Тяговое усилие трактора передается грейдеру поворотным дышлом, которое шарнирно соединяется с передней осью грейдера и имеет на переднем конце серьгу для сцепки с трактором. Сцепка грейдера с трактором может быть жесткой и гибкой. При жесткой сцепке, когда дышло грейдера присоединяется непосредственно к трактору, ось трактора может быть смещена во время работы только на 1,5—1,6 *м* и при отрывке глубоких канав одна из гусениц трактора двигается по откосу. Перекосы трактора вредно отражаются на его работе, а грейдеристу трудно выдержать прямолинейное движение даже при небольших отклонениях трактора.

При гибкой сцепке дышло прикрепляется к трактору цепью или тросом длиной 7,5—10 *м*. Уже при отклонении дышла на 10—15° грейдер может быть смещен на 3 *м* по отношению к оси трактора; поле видимости грейдериста увеличивается, для разворота требуется значительно меньше места и времени. Гибкую связь следует предпочитать жесткой.

Габаритная длина грейдера 9,20 *м*, ширина 2,95, высота 2,35, радиус поворота 5,3 *м*, вес грейдера без дополнительного оборудования 4,26 *т*; тяговый трактор С-80.

Удлинитель представляет собой небольшой отвал с ножом и служит для увеличения перемещения грунта в сторону. Удлинители используются обычно при работе в легких грунтах; втяжелых грунтах применение их малоэффективно.

Откосник сконструирован в виде двух небольших отвалов, расположенных под углом один к другому, и служит для нарезки кюветов треугольного или трапецеидального сечения.

Планировщик откосов представляет собой отвал, шарнирно соединенный с концом основного отвала и тягой с рамой грейдера.

Кирковщик является дополнительным навесным оборудованием к грейдеру и служит для облегчения работы грейдера в твердых грунтах.

Смеситель представляет собой также дополнительное сменное оборудование к грейдеру, крепится к тяговой раме взамен поворотного круга и служит для смешивания гравия, песка и щебня с вяжущими материалами при постройке дорог.

Промышленность освоила серийное производство автогрейдеров Д-144 (рис. 44, *а*) на пневматическом ходу с отвалом длиной 3,66 *м* и дизельным двигателем КДМ-46.

Основная изогнутая рама *1* автогрейдера опирается на балансирную тележку задних колес и на ось передних колес, служит для крепления на ней двигателя, который через трансмиссию приводит во вращение задние ведущие колеса; на раме крепятся также рабочие органы, механизмы управления рабочими органами и площадка водителя с рычагами управления. К механизмам управления относятся: подъем отвала (правый и левый), поворот отвала в горизонтальной плоскости, вынос отвала в сторону за пределы рамы машины (рис. 44, *б*), наклон передних осей в вертикальной плоскости, подъем и опускание кирковщика.

К основной раме подвешена тяговая рама *2*, к которой присоединен поворотный круг *3* с отвалом *4*, могущий вращаться в горизонтальной плоскости на 360°.

Тяговую раму вместе с отвалом можно поднимать, опускать и выносить в сторону.

К рабочему оборудованию автогрейдера относится отвал с ножом, кирковщик и сменное оборудование, состоящее из двухотвального плужного снегоочистителя, бульдозерного отвала, навесного скрепера, грейдер-элеватора с дисковым ножом и др.

Ходовое оборудование автогрейдера состоит из двух передних ведомых и четырех задних ведущих пневморезиновых колес.

Передние колеса могут наклоняться в обе стороны; задние не наклоняются, они снабжены гидравлическими тормозами.

Управление механизмами производится из кабины, находящейся в задней части автогрейдера.

К задней части прикреплен буксирный крюк для присоединения прицепа. Вес автогрейдера 13,4 *т*.

Положительная особенность автогрейдера по сравнению с прицепным грейдером состоит в легкости управления рабочими органами, так как оно механизировано и выполняется путем отбора мощности от двигателя.

Автогрейдер имеет рабочие скорости движения от 3,28 до 7,85 *км/час*, транспортные от 10,35 до 26,7 *км/час* и две скорости заднего хода 3,87 и 6,56 *км/час*.

Толщина вырезаемой стружки 20 *см*. Производительность автогрейдера до 300 $м^3$/*час*, т. е. на 30—40% выше, чем прицепного.

Передовые грейдеристы значительно перевыполняют нормы в результате следующих мер:

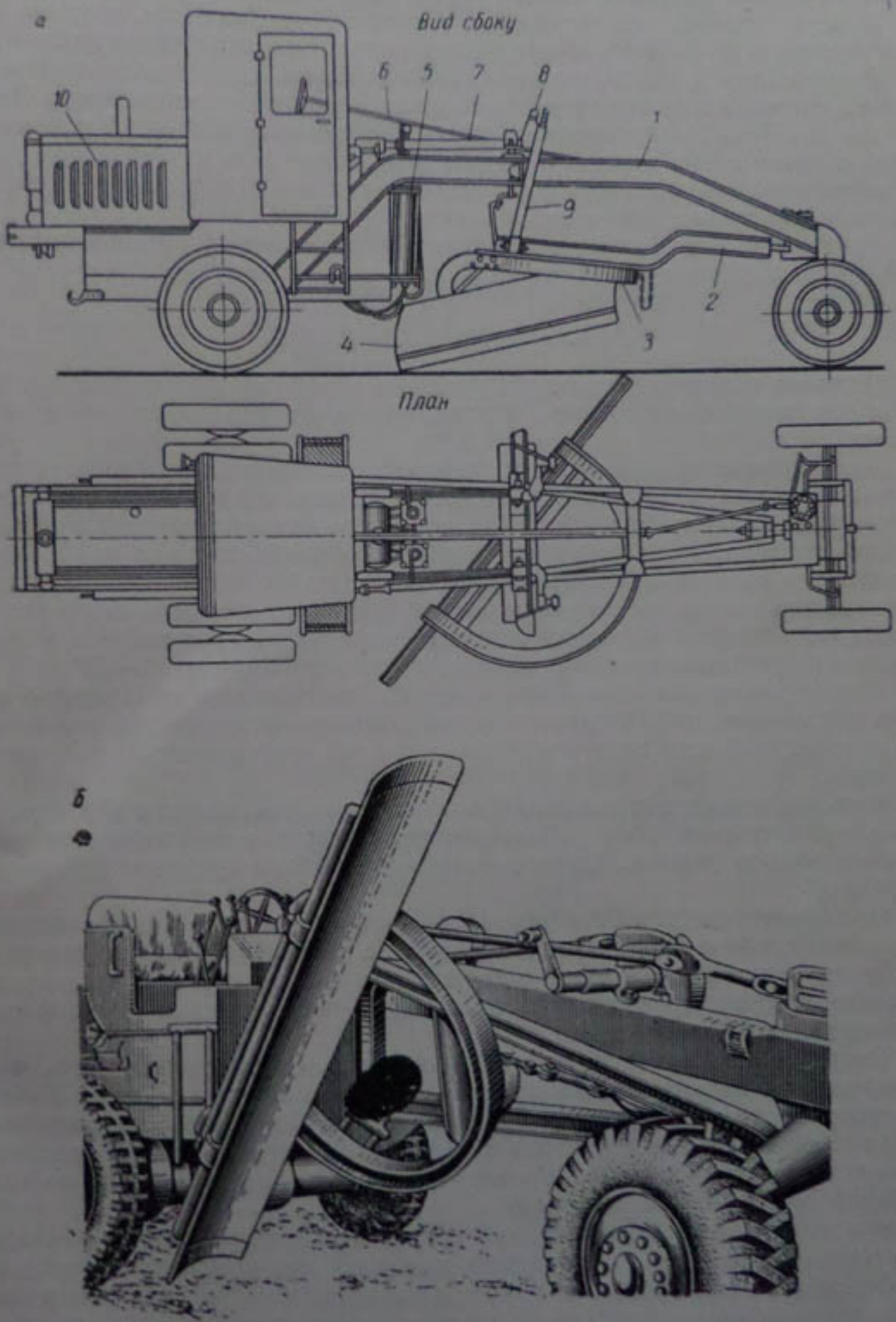


Рис. 44. Автогрейдер Д-144:

а—общий вид; б—вынос отвала в сторону за раму; *1*—рама; *2*—тяговая рама; *3*—поворотный круг; *4*—нож с отвалом; *5*—гидравлические цилиндры подъема тяговой рамы; *6*, *7*, *8* и *9*—рычаги и тяги механизма подъема; *10*—двигатель.

1) правильного и умелого регулирования углов захвата, резания, заре-зания и предварительного рыхления грунта;

2) освоения и внедрения новой передовой технологии работ (прямо-угольная форма стружки, расположение последовательных проходок);

3) мероприятий, обеспечивающих сохранность машины, систематиче-ский контроль за работой оборудования и уплотнение рабочего дня.

Автогрейдер Д-265 с отвалом длиной 3050 *мм*, с двигателем мощностью 54 *л. с.*, весом 8,5 *т* по конструктивной схеме аналогичен автогрейдеру Д-144.

Автогрейдер Д-426 (опытный образец) с дизелем ЯАЗ-204А мощностью 110 *л. с.* имеет отвал длиной 3780 *мм* и отличается от автогрейдера Д-144 наличием двух ведущих осей со всеми управляемыми колесами и гидравли-ческим управлением рабочими органами.

Заводом имени Колющенко создан также опытный образец автогрей-дера Д-395 с дизелем мощностью 150 *л. с.*, с тремя ведущими колесами.

§ 3. ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ

Отрывка каналов. Установка грейдера в рабочее положение произво-дится различными способами, в зависимости от характера предстоящей работы.

Для отрывки каналов при разработке резервов нож грейдера устанав-ливают наклонно к вертикальной плоскости, опуская его в грунт примерно на $^1/_3$—$^1/_2$ длины. Глубина опускания зависит от характера грунта и тягового усилия трактора. Нож крепится на той паре гнезд, которая расположена у режущего края его. Основная рама смещается по задней оси настолько, чтобы задние колеса не попадали на валик грунта, отсыпаемый грейдером. Колеса наклоняются в сторону перемещения грунта. Угол захвата устанав-ливается в зависимости от рода грунта, а угол зарезания до 11—15°.

При перемещении вырезанного грунта в отвал нож либо плотно при-жимается к земле, либо устанавливается с некоторым просветом, в зависимо-сти от того, требуется ли переместить весь слой грунта или только верхнюю его часть.

При разравнивании и планировке колеса устанавливают без наклона, а нож горизонтально или с небольшим наклоном при необходимости созда-ния поперечного уклона. Схема организации работы грейдера показана на рисунке 45.

При двусторонней работе (рис. 45, *б*) грейдер, двигаясь в одном направле-нии, режет грунт и перемещает его в отвал, а двигаясь в обратном направле-нии, производит ту же работу с другой стороны канала; при последующей проходке грейдер производит планировку с перемещением верхней части грунта на окончательное место.

Такую последовательность работ следует соблюдать для того, чтобы образующиеся валики не мешали следующему проходу грейдера. Размеры получающегося при резании отвала грунта легко определить из следующего условия; объем отвала (с учетом разрыхления грунта) должен равняться объему вырезанного грунта. Грейдер тяжелого типа может отрыть канал глубиной до 0,7—0,8 *м*, шириной по дну 0,35—0,40—0,80 *м*, с заложением откосов не менее 1 : 1,25, с укладкой грунта в кавальер или дамбу. Послед-нюю проходку делают с откосником для удаления оставшихся недоделок.

Стоимость разработки 1 $м^3$ грунта с укладкой и разравниванием в основ-ном зависит от длины фронта работ и числа проходок. Так как число прохо-док при разравнивании и перемещении грунта больше, чем при резании, в $1^1/_2$—2 раза, то целесообразно надевать на край ножа удлинитель для умень-шения числа проходок по перемещениям грунта. Можно вести разработку с резанием грунта не с двух сторон, а только с одной стороны с разравнива-нием грунта при обратном проходе (рис. 45, *в*). В этом случае один из откосов получается положе другого. При односторонней схеме производительность грейдера значительно снижается.

По двусторонней схеме можно производить работы по отрывке каналов водосбросной, распределительной и оросительной сетей, а по односторонней выполнять нагорные каналы с односторонними кавальерами. Перед началом

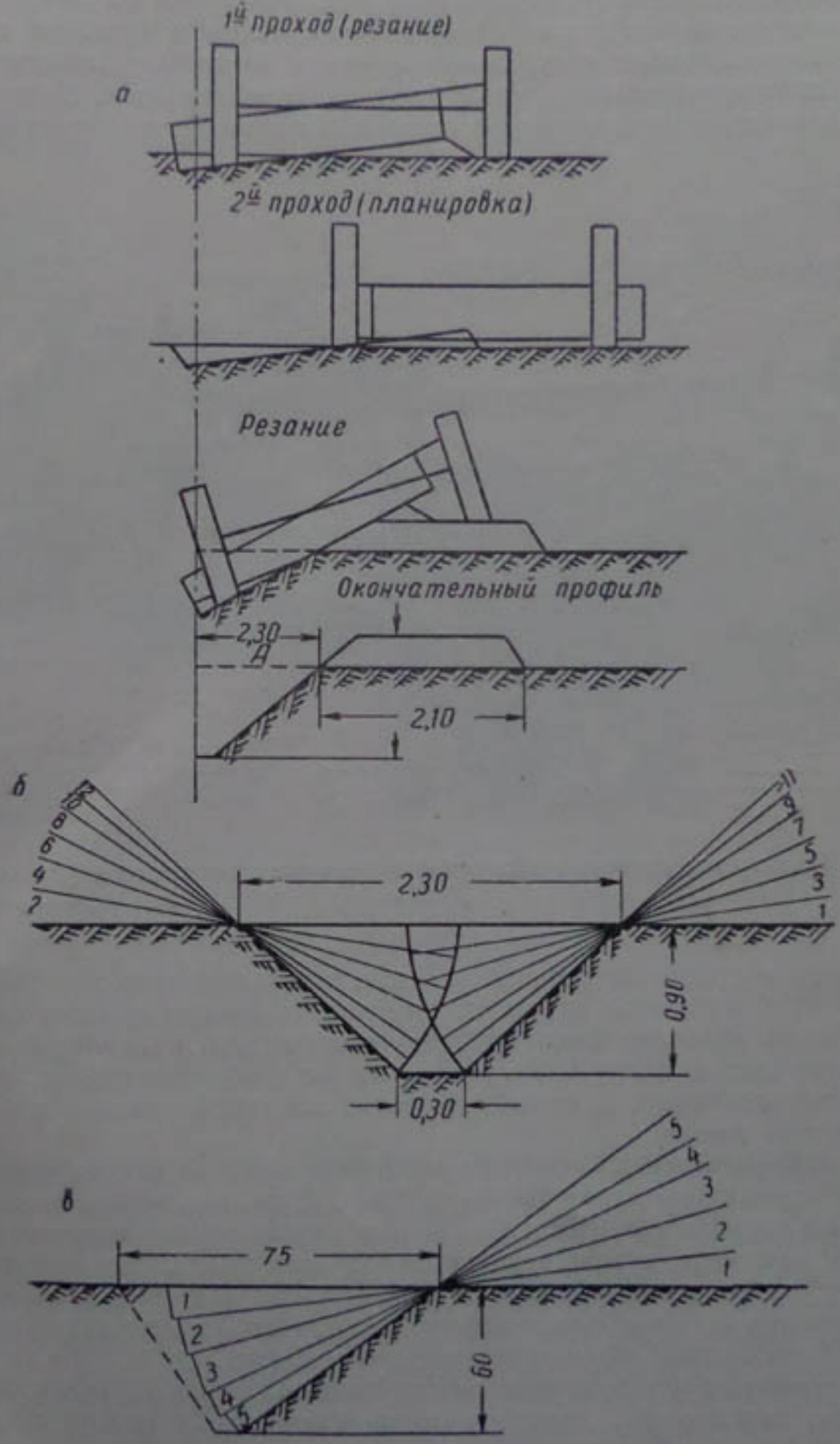


Рис. 45. Работа грейдера:

а—разработка выемки; б—последовательные положения ножа при двусторонней разработке канала; в—последовательные положения ножа при односторонней разработке канала.

работ участок должен быть раскорчеван, корни толще 2—3 *см* и камни должны быть удалены, а трава скошена; кроме того, должна быть произведена планировка на всей ширине выемки для придания трассе уклона, параллельного уклону дна, с тем чтобы избежать волнистого дна канала; планировка

совмещает в себе и удаление растительного слоя, также производимое грейдером.

Грейдеры можно использовать и для отсыпки дамб из резервов.

Производительность грейдера может быть увеличена на 5—10% и более в результате изменения формы поперечного сечения и площади срезаемой стружки. С переходом от треугольной стружки на прямоугольную площадь ее значительно увеличивается, число зарезаний уменьшается. Поэтому имеет большое значение предварительное нанесение на поперечное сечение канала

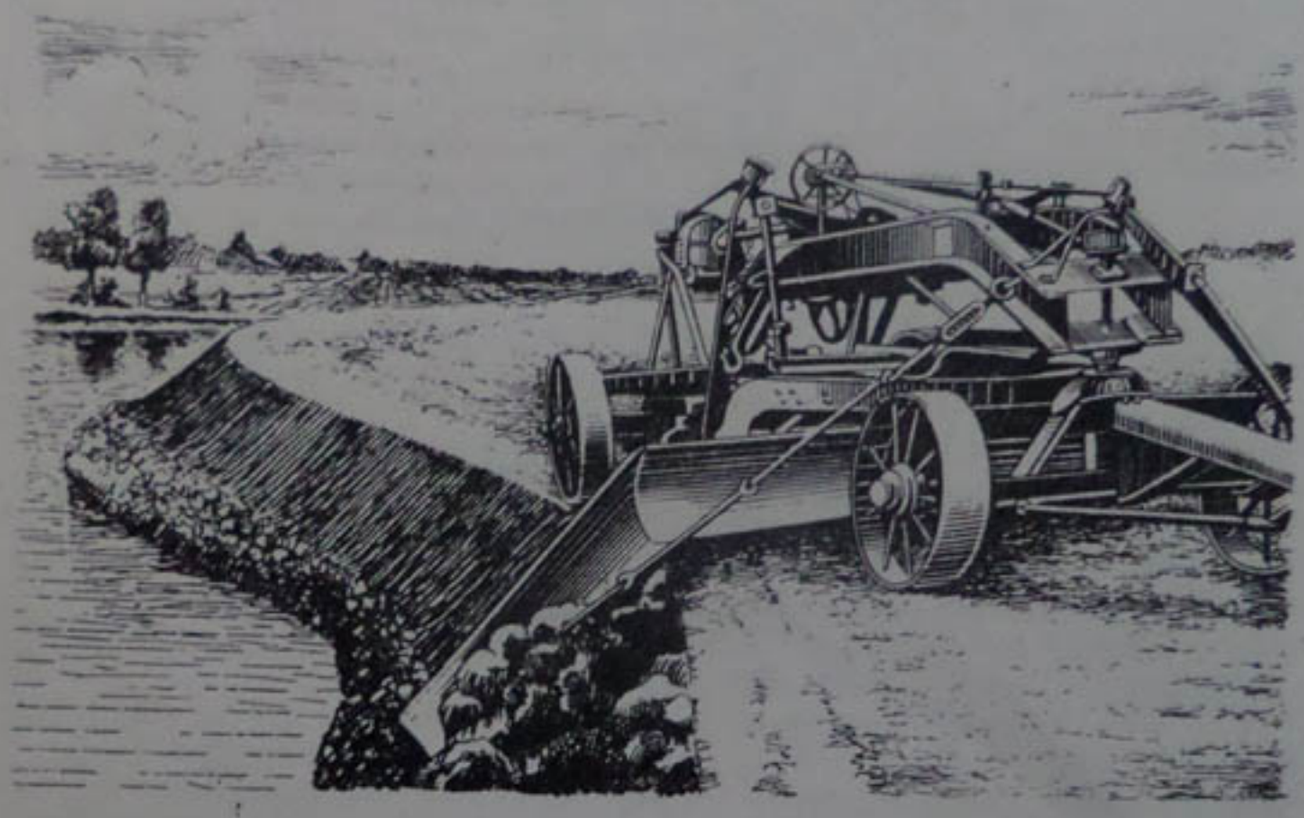


Рис. 46. Планировка откосов грейдером с дополнительным отвалом (откосником) Д-276.

всех проходок и сравнение вариантов с тем, чтобы получить возможно большее число прямоугольных стружек. Глубина зарезания должна быть возможно большей. Для того чтобы грейдерист мог видеть и регулировать в любое время глубину и длину ножа, участвующую в резании грунта, рекомендуется на тыльной стороне отвала наносить масляной краской деления по высоте и длине отвала.

На производительность грейдера оказывает влияние длина фронта работ (захватки); нормальная длина захватки 0,8—1,2 *км*, в зависимости от характера грунта и рельефа местности. При малых длинах захватки теряется много времени на повороты, а при чрезмерно больших длинах промежутки времени между проходами зарезания и перемещения слишком велики, грунт пересыхает и при перемещениях измельчается. Наибольшая длина захватки не должна быть больше дневной выработки грейдера.

Разравнивание грунта на возводимых насыпях после доставки его автосамосвалами, скреперами, ленточными транспортерами можно выполнять грейдерами и автогрейдерами.

Разравнивание производится послойно, рядом последовательных проходок с перекрытием их на 20—30 *см*; угол захвата 55—60°. При планировке дна выемок и верха насыпей угол захвата устанавливается в 45—55°.

Планировка откосов. Брянский завод дорожных машин создал новый тип откосника Д-276 к тяжелым грейдерам для планировки откосов насыпей и выемок. Он состоит из дополнительного отвала длиной 1,83 *м*, шарнирно прикрепленного к основному отвалу (рис. 46). Откосник может обрабатывать откосы 1:1—1:3.

При отделке откосов выемок планировку выполняют с помощью вынесенного в сторону отвала при движении грейдера по дну выемки под углом захвата 60—65°. Планировка насыпей производится таким же образом, но при движении грейдера по верху насыпи. На строительстве Донского магистрального канала длиной около 28 *км* и Нижнедонского распределительного канала длиной 70 *км*, проходивших в полунасыпи-полувыемке, были произведены значительные работы по зачистке и планировке откосов 1:2; они выполнялись по предложению инж. Г. А. Кязимова тракторными отвалами (бульдозерами) и грейдерами. Сначала откосы отделывались вчерне

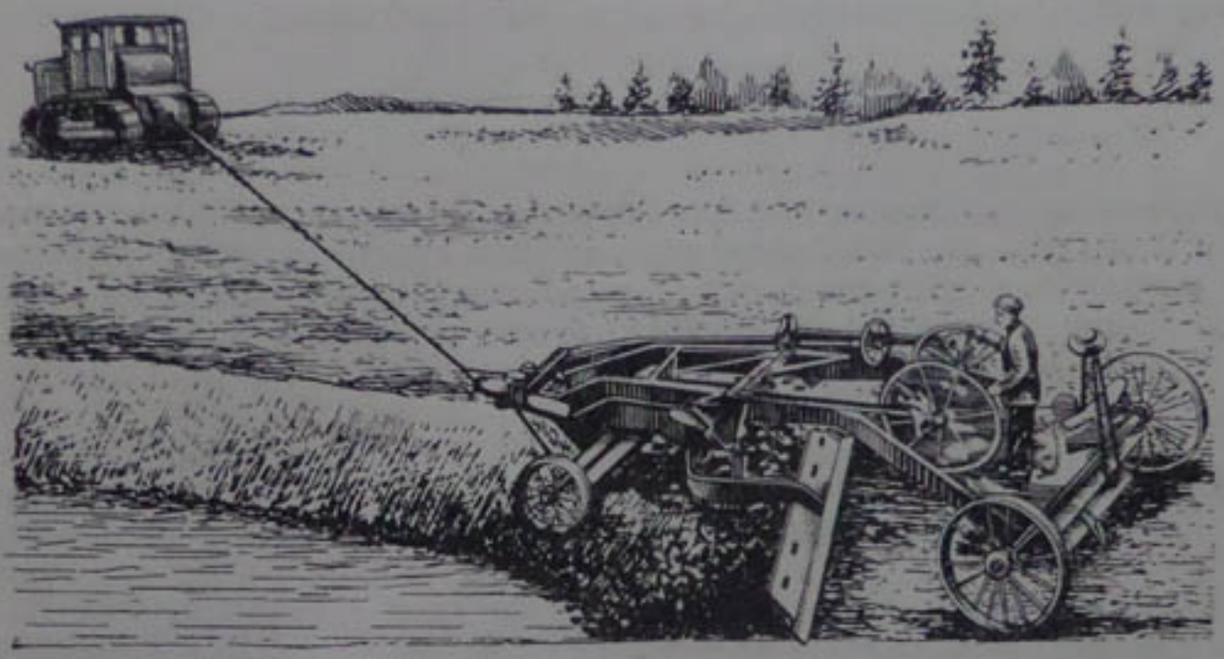


Рис. 47. Отделка откосов грейдером, прикрепленным к трактору на длинном тросе.

бульдозерами в две проходки (сверху вниз—первая проходка и снизу вверх—вторая проходка), после чего откосы окончательно зачищались тяжелыми грейдерами Д-20Б, соединенными с трактором длинной гибкой сцепкой—тросом; длина последнего изменялась от 2 до 12 *м* в зависимости от положения грейдера на откосе. Трактор шел по верхней площадке насыпи, а грейдер двигался по откосу (рис. 47). Отделка откосов по указанному способу показала отличные результаты. Откос получался ровным и гладким, а рабочий процесс оказался высокопроизводительным и совершенно безопасным.

§ 4. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ГРЕЙДЕРА И СТОИМОСТЬ РАБОТ

Грейдер при первой проходке, вследствие недостаточной длины своего ножа, не может укладывать грунт сразу на требуемое место. Необходимы дальнейшие проходы для перемещения грунта и разравнивания его. Для облегчения проходок грейдера целесообразно разравнивать грунт после каждого хода резания. Таким образом, оба хода грейдера являются рабочими, причем грейдер может сначала произвести двустороннее резание, а затем двустороннее разравнивание.

Время проходки (время оборота) грейдера, производящего резание грунта за один рабочий ход, составляет:

$$t = \frac{L_\Phi}{v_{\text{рез}}} + t_\text{п},$$

а число проходок в смену:

$$n = \frac{480\, K_{\text{вр}}}{\frac{L_\Phi}{v_{\text{рез}}} + t_\text{п}},$$

где $v_{рез}$ — скорость грейдера при резании;
$t_п$ — время, затрачиваемое на один поворот;
$L_ф$ — длина фронта.
За один рабочий ход грейдер разрабатывает объем:

$$V = \omega L_ф = \frac{hL}{4} \sin \alpha L_ф,$$

где h — глубина резания;
L — длина ножа;
α — угол захвата.
Производительность грейдера по резанию составляет:

$$П' = Vn = \frac{hL}{4} \sin \alpha L_ф \frac{480 K_{вр}}{\frac{L_ф}{v_{рез}} + t_п} \text{ м}^3/\text{смену}. \quad (46)$$

Однако в результате резания грунт еще окончательно не уложен на место. Если для окончательного перемещения грунта на место с разравниванием требуется m проходок, то производительность грейдера по разравниванию грунта и укладке его на место можно определить по формуле:

$$П'' = \frac{n_1 V_1}{m},$$

где V_1 — объем перемещаемого грунта и n_1 — число проходок грейдера при разравнивании грунта и укладке его на место определяются по формулам:

$$V_1 = \frac{hL}{2} \sin \alpha L_ф; \quad (47)$$

$$n_1 = \frac{480 K_{вр}}{\frac{L_ф}{v_{разр}} + t_п}, \quad (48)$$

где $v_{разр}$ — скорость движения грейдера при разравнивании;
$t_п$ — время, затрачиваемое на поворот.
Стоимость C разработки грейдером 1 $м^3$ грунта при устройстве каналов определяется по формуле:

$$C = \frac{c_{м.\,см}}{П'} + \frac{c_{м.\,см}}{П''},$$

где $c_{м.\,см}$ — стоимость машино-смены агрегата.
Скорости $v_{рез}$ и $v_{разр}$ определяются по тяговым расчетам с уменьшением их на 10% против каталожных ввиду частых поворотов и въездов. Число проходок при разравнивании определяется по схеме организации работ.

Глава VI

ГРЕЙДЕР-ЭЛЕВАТОРНЫЕ РАБОТЫ И ИХ ОРГАНИЗАЦИЯ. ЗЕМЛЕРОЙНЫЕ СТРУГИ

§ 1. УСТРОЙСТВО ГРЕЙДЕР-ЭЛЕВАТОРОВ

Грейдер-элеватор представляет собой прицепную землеройно-транспортную машину непрерывного действия, режущим органом которой служит дисковый плуг; вырезаемый им грунт поступает на поперечный транспортер, передающий его либо на место укладки, либо в транспортные приборы, движущиеся параллельно грейдер-элеватору.
Промышленность выпускает грейдер-элеватор Д-192А с индивидуальным двигателем для привода транспортера и механической системы управления.

На стройках работают также грейдер-элеваторы ГЭМ, снятые уже с производства. Грейдер-элеваторы в определенных условиях не уступают по производительности даже мощным современным экскаваторам и отличаются от них меньшим весом и расходом энергии; они являются одной из перспективных и прогрессивных землеройных машин. К сожалению, до сих пор они не имеют на гидромелиоративных и гидротехнических стройках достаточно широкого применения.

Грейдер-элеватор Д-192А состоит из следующих частей (рис. 48). На основной раме *1* монтируются рабочие органы, двигатель и механизмы управления. Плужная балка *2* размещена с левой стороны по ходу машины; к балке подвешен дисковый плуг *3* диаметром 0,8 *м*, который вырезает стружку грунта и направляет ее на ленточный транспортер *4*. Последний длиной 8,5 *м* со вставкой и 6 *м* без вставки расположен с правой стороны основной рамы.

Двигатель *5* мощностью 54 *л.с.* приводит в движение транспортер и механизмы управления, установленные на передней части основной рамы. Кроме того, грейдер-элеватор имеет приводы транспортера, механизмов его подъема и механизмов управления, а также механизм подъема плужной балки, ходовую часть (*27—28*) и прицепное устройство (*29—30*).

Рама транспортера состоит из двух продольных пустотелых балок, изогнутых в средней части и соединенных в передней, задней и средней частях поперечными балками и связями. В средней части рамы к правой ее балке приварена вертикальная ферма для крепления транспортера. К задней поперечине приварены накладки для крепления к ним задних полуосей. Двигатель расположен в передней части рамы, что повышает устойчивость машины.

Дисковый плуг *3* вогнутой формы прикреплен к дискодержателю *7*, а последний к вертикальной стойке *8*, прикрепленной планками *10* к плужной балке стяжными болтами. Благодаря такому креплению режущий диск можно устанавливать на разной высоте и смещать вдоль плужной балки. К нижней полке заднего конца плужной балки прикреплен болтами угольник с десятью отверстиями, соединенный подкосом *12* с дискодержателем. Подкос фиксирует положение режущего диска относительно плужной балки; перестановкой в различные отверстия болта, соединяющего дискодержатель с угольником, можно регулировать угол резания диска; наибольшее заглубление диска 0,65 *м*.

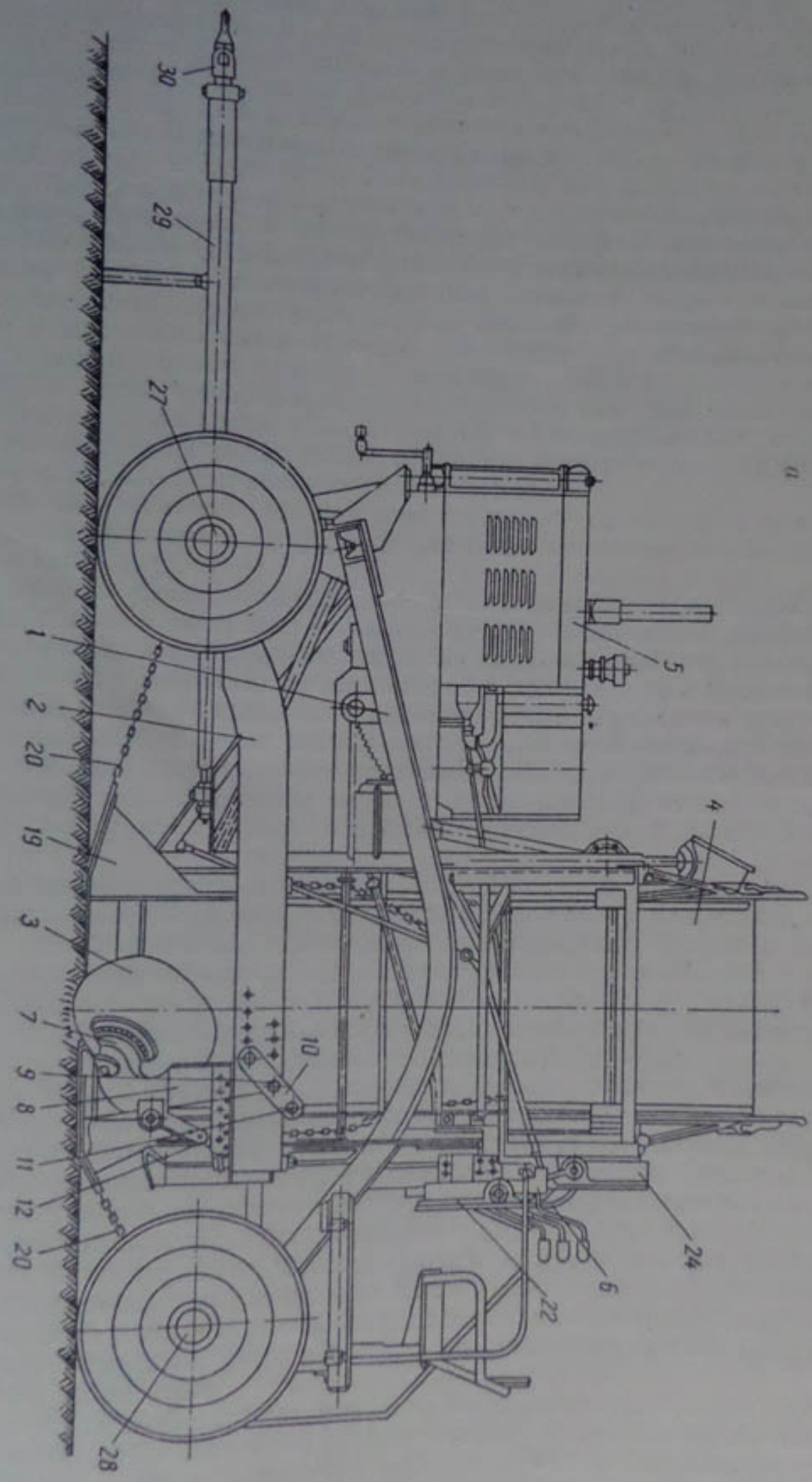
Задний конец плужной балки шарнирно соединен с поперечной распоркой, на другом конце которой имеется восемь отверстий; при их помощи можно изменять угол захвата режущего диска.

Положение плужной балки в горизонтальной плоскости фиксируется в задней части поперечной распоркой и в передней шкворнем, соединяющим плужную балку с передней осью грейдер-элеватора. Для лучшего заглубления дискового плуга в грунт, происходящего под действием собственного веса, в хвостовую часть плужной балки заложен дополнительный груз.

Поперечный транспортер грейдер-элеватора состоит из трех секций: верхней, средней и нижней; первые две соединены жестко, а нижняя прикреплена к средней шарнирно. Такое соединение обеспечивает возможность изменения угла наклона транспортера. Верхняя и средняя секции транспортера подвешиваются к вертикальной ферме: верхняя—при помощи полиспаста на двух стальных канатах *13*, а средняя—на двух цепях *14*; нижняя секция подвешивается к поперечным балкам основной рамы цепями *15*. Нижняя и верхняя секции являются постоянными; средняя вставляется, если необходимо работать с удлиненным транспортером (L=8,5 *м*).

Для повышения производительности транспортера и предупреждения бокового просыпания грунта с транспортерной ленты шириной 1,2 *м* к продольным поясам рамы транспортера прикреплены боковые щиты.

Приводной барабан *16* расположен в конце верхней секции; он изготовлен из стальной трубы, обтянутой резиновой облицовкой во избежание буксования ленты транспортера; вал ведущего барабана установлен на шарико-


30
29
27
1
2
20
19
3
7
9
8
11
12
20
28
10
5
4
24
6
22

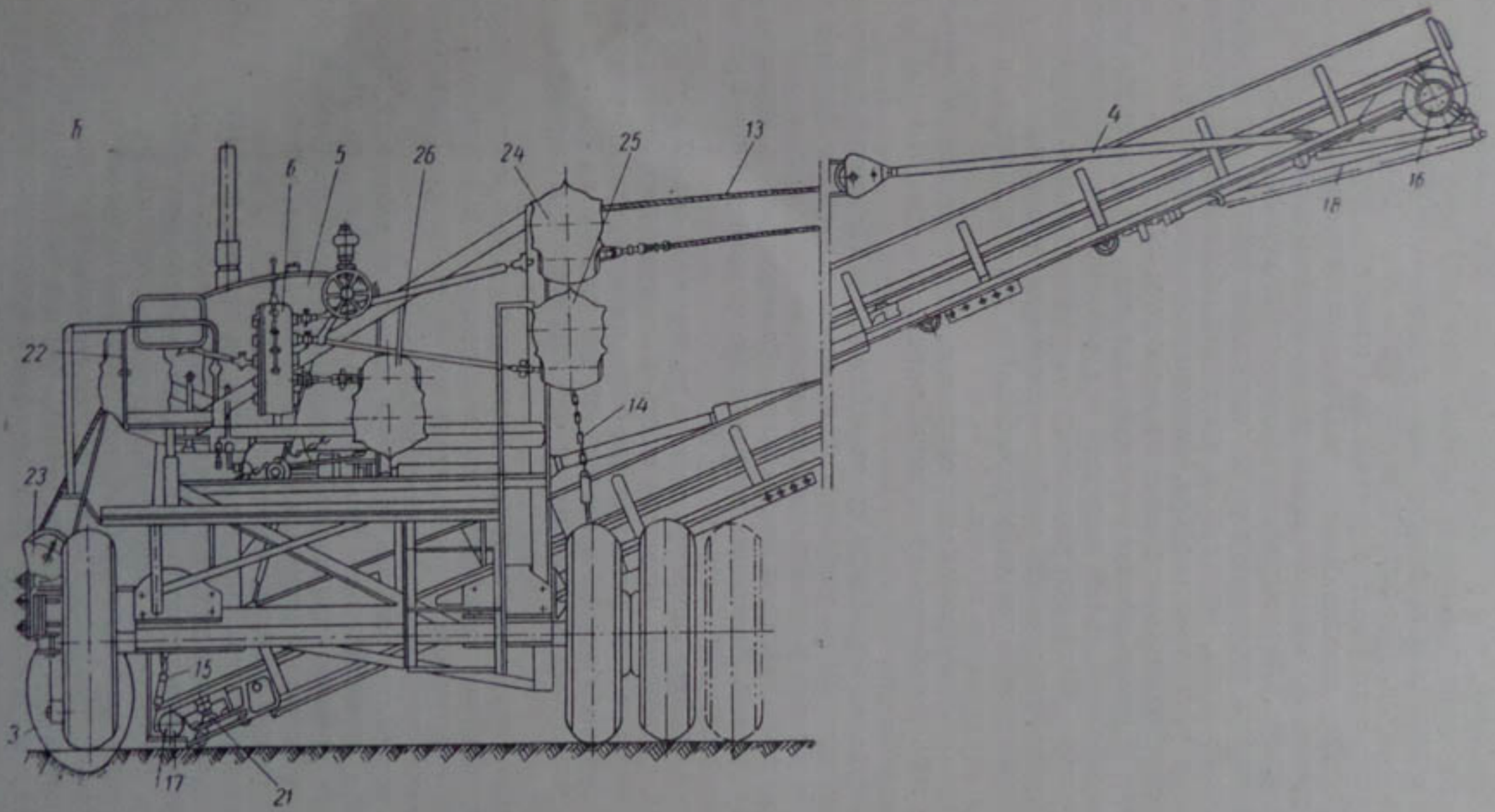


Рис. 48. Общий вид грейдер-элеватора Д-192А:

а—вид со стороны дискового плуга; *б*—вид сзади: *1*—основная рама; *2*—плужная балка; *3*—дисковый плуг; *4*—ленточный транспортер; *5*—двигатель; *6*—контроллер; *7*—дискодержатель; *8*—вертикальная стойка; *9*—центровый болт; *10*—планка; *11*—стяжной болт; *12*—подкос; *13*—канаты полиспаста; *14*—цепь для подвески средней секции транспортера; *15*—цепи для подвески нижней секции; *16*—приводной барабан транспортера; *17*—ведомый барабан транспортера; *18*—защитные трубы; *19*—предохранительный полоз; *20*—цепные растяжки, связывающие нижнюю секцию транспортера с рамой; *21*—очистительный механизм; *22*—редуктор механизма подъема плужной балки; *23*—полиспаст; *24*—механизм подъема верхней части транспортера; *25*—механизм подъема средней части транспортера; *26*—механизм подъема нижней части транспортера; *27*—передняя ось; *28*—задние полуоси; *29*—дышло; *30*—сцепка.

подшипниках. Ведомый барабан *17* установлен в нижней секции транспортера.

Для облегчения подачи грунта, вырезанного дисковым плугом, на транспортер и уменьшения потерь грунта при этой операции ведомый барабан имеет диаметр меньший, чем у ведущего барабана. Натяжное устройство винтового типа передвигает ведомый барабан, чем и регулируется натяжение транспортерной ленты; для защиты от пыли и грязи натяжное устройство располагается в кожухе. Для защиты транспортера от повреждений с правой и левой сторон верхней секции установлены защитные трубы *18* и решетка, а в нижней секции качающийся полоз *19* и нижняя решетка.

Цепные растяжки *20*, связывающие нижнюю секцию транспортера с рамой грейдер-элеватора, обеспечивают его поперечную устойчивость.

Первичная очистка внутренней части ленты производится двусторонним плужковым сбрасывателем, шарнирно подвешенным к холостой части ленты на нижней секции рамы транспортера. Очистка ведомого барабана производится ножом скребкового очистительного механизма *21*.

Управление рабочими органами грейдер-элеватора производится через редуктор, имеющий специальный выходной вал, связанный с валом ведущей шестерни контроллера *6* (коробка управления) карданным валом. Контроллер расположен у поста управления грейдер-элеватором и предназначен для управления механизмами подъема плужной балки и транспортера, с которыми он связан карданными валами.

Механизм подъема плужной балки состоит из самотормозящего червячного редуктора *22* с барабаном, на который навивается трос полиспаста *23* подъема плужной балки.

Механизмы подъема верхней *24*, средней *25* и нижней *26* частей транспортера одинаковы; каждый из них состоит из самотормозящего червячного редуктора, приводимого в движение от карданного вала, идущего от контроллера; редуктор жестко связан с валом, на который наматываются концы подъемных тросов или цепей. Изменение направления вращения валов производится контроллером.

Ходовая часть грейдер-элеватора состоит из передней оси *27* и двух задних полуосей *28*, на которые насажены шесть пневматических баллонов, по одному с левой стороны и по два с правой, более нагруженной. Правая задняя полуось может выдвигаться в сторону от оси машины на 350 *мм*, чем обеспечивается устойчивость машины от опрокидывания в сторону транспортера.

Передняя ось оборудована амортизаторами и связана с основной рамой шарниром, допускающим колебания оси в вертикальной плоскости; это позволяет раме оставаться в горизонтальном положении. Наименьший радиус поворота по наружному заднему колесу 5,5 *м*.

Прицепное устройство грейдер-элеватора состоит из дышла *29*, которое присоединяется к передней оси при помощи универсального шарнира, а к трактору при помощи специальной сцепки *30* с амортизационной пружиной. При повороте дышла поворачиваются только колеса, а передняя ось, связанная с плужной балкой, остается неподвижной. Грейдер-элеватор в рабочем состоянии весит 9,75 *т*; он работает на прицепе у трактора С-80, его производительность при работе в отвал около 400 *м*³/*час*.

Самоходный грейдер-элеватор Д-369 имеет рабочие органы—дисковый плуг диаметром 1000 *мм* и плоский нож, расположенный на приемной части нижней секции транспортера. Основными частями самоходного грейдер-элеватора являются: одноосный тягач с дизель-электрическим приводом, рама с установленным на ней оборудованием, рабочее оборудование, транспортер длиной 15 *м*, задняя телескопическая рама и четыре приводных колеса. Дизель ЯАЗ-206 мощностью 200 *л. с.* приводит в движение два генератора: один переменного тока для питания двигателей привода транспортера, вентиляторов двигателей-колес и очистительного механизма ленты транспортера, другой—постоянного тока для питания электродвигателей-колес.

Управление осуществляется из кабины, расположенной на раме грейдер-элеватора. Скорость движения машины изменяется в широких пределах — от 1,9 до 37 *км/час*. Производительность машины 500—800 *м³/час*. Наличие транспортера длиной 15 *м* позволяет выполнять насыпи высотой до 3 *м* и выемки глубиной до 4 *м*.

§ 2. ЗЕМЛЕРОЙНЫЙ СТРУГ Д-264 С ОТВАЛЬНЫМ МОСТОМ

Опытный образец землеройного струга Д-264 (рис. 49) успешно прошел испытания. Этот струг представляет собой машину непрерывного действия высокой производительности, предназначенную для выполнения земляных работ при строительстве крупных ирригационных, судоходных и других каналов, возведении земляного полотна железных и автомобильных дорог, выполнении вскрышных работ и т. д.[1].

Машина приспособлена для разработки грунтов I—III категорий, кроме мокрых, липких. Более плотные и мерзлые грунты машина может разрабатывать только при предварительном их рыхлении с кусками не более 0,30 *м* в диаметре.

Машина состоит из двух основных агрегатов, кинематически между собой не связанных и могущих работать как самостоятельно, так и совместно. Это землеройный струг с наклонным транспортером (рис. 49) и отвальный мост (рис. 50).

Струг срезает горизонтальными и вертикальными ножами непрерывную стружку толщиной до 0,6 *м* и подает ее либо на отвальный мост (рис. 51), либо на транспортные средства (при работе без отвального моста).

В передней части плужной рамы *2* струга (рис. 49) установлены ножи *3*, подрезающие, планирующие и подгребающие. Если требуется срезание грунта с высокой вертикальной стенки, то на передней части плужной балки устанавливается специальный вертикальный нож, позволяющий разрабатывать забой высотой до 3 *м*. Толщина и форма земляной стружки изменяются опусканием или подъемом плужной балки с ножами при помощи гидравлического цилиндра *15*, а также наклоном всего струга относительно ходовой части гидравлическим цилиндром *16*.

Наклонный транспортер *4* струга длиной 12,5 *м* состоит из трех секций, из которых две верхние жестко соединены болтами. Нижняя часть транспортера выдвижная, что позволяет производить натяжение транспортерной ленты, имеющей ширину 1400 *мм*. Приводной барабан транспортера покрыт резиной, чтобы предотвратить буксование ленты. Лента очищается скребками, расположенными с внутренней и наружной сторон холостой ветви; кроме того, в нижней части перед натяжным барабаном установлен шнековый очиститель. Очистительный механизм приводится в движение от нижнего барабана транспортера.

Транспортер имеет форму лотка, что предотвращает просыпание грунта, съемные боковые стенки поставлены на подкладки из прорезиненной ленты.

Нижняя часть транспортера шарнирно соединена с плужной рамой, а верхняя его часть шарнирно, через две телескопические стойки *5*, опирается на несущую раму струга. Благодаря такому соединению раму транспортера можно установить либо по продольной оси машины (при работе с отвальным мостом), либо под углом к продольной оси при погрузке грунта в транспортные приборы (без отвального моста).

Ходовая часть *7* струга представляет собой четырехколесную балансирную тележку на пневматических шинах 17×32 дюйма от самосвала МАЗ-525. Ось ее с одной стороны закреплена шарнирно, а с другой связана с несущей рамой через гидравлический цилиндр *16*.

---

[1] Ю. В. Дейнего. Землеройная машина Д-264. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 4, 1953; Н. Н. Аничкин, З. Е. Гарбузов, Л. Е. Подборский. Землеройный струг производительностью 1000—2000 *м³/час*. «Механизация строительства» № 2, 1958.

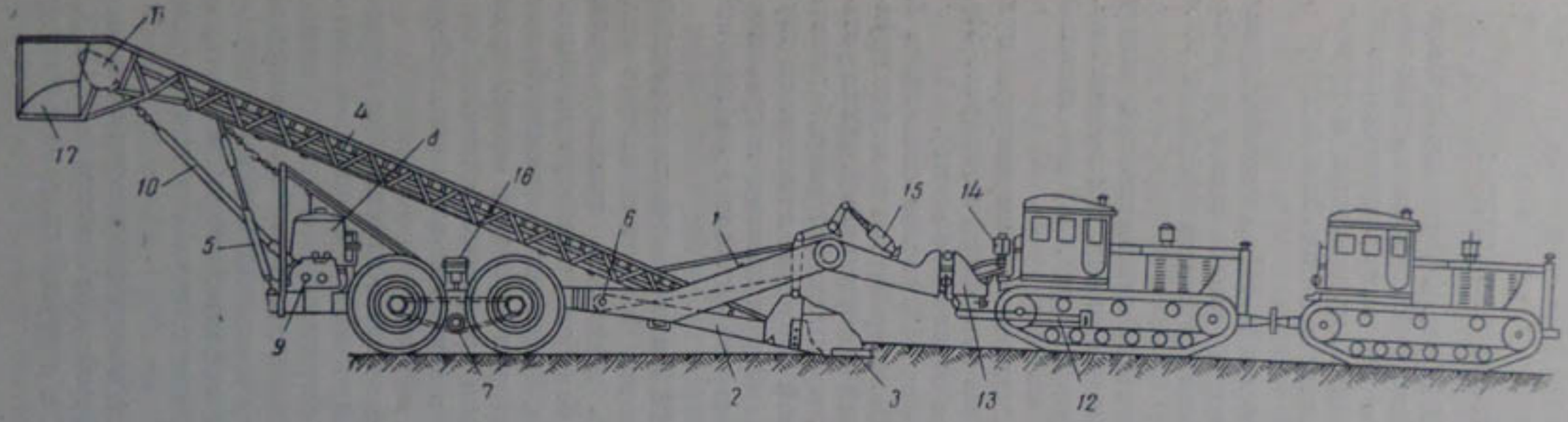


Рис. 49. Конструктивная схема землеройного струга Д-264:

1—несущая рама; *2*—плужная рама; *3*—ножи; *4*—наклонный транспортер; *5*—телескопические стойки; *6*—шарнир, соединяющий плужную и несущую рамы; *7*—ходовая часть; *8*—дизельный двигатель мощностью 150 *л. с.* для приведения в движение транспортерной ленты; *9*—редуктор; *10*—карданный вал; *11*—конечная передача; *12*—охватывающая рама; *13*—шарнирное устройство; *14*—шестеренчатый насос; *15*—гидравлический цилиндр для подъема и опускания плужной рамы; *16*—гидравлический цилиндр для наклона несущей рамы; *17*—выгрузной лоток транспортера.

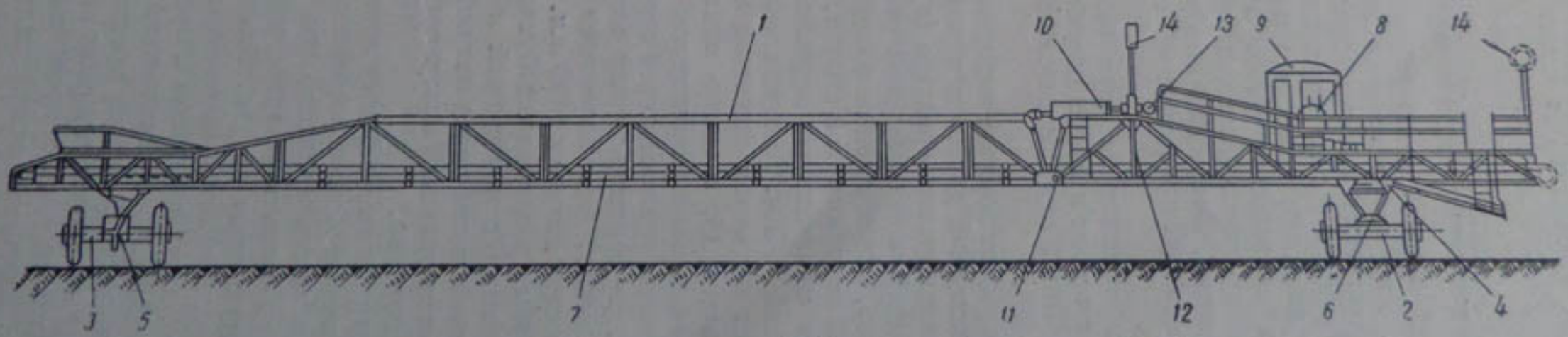


Рис. 50. Отвальный мост землеройной машины Д-264 длиной 47,5 *м*:

1—несущая ферма; *2*—верхняя опорная тележка; *3*—нижняя опорная тележка; *4*—роликовые опоры верхней тележки для перемещения по ним фермы транспортера; *5* и *6*—шарнирные устройства; *7*—желобчатый транспортер; *8*—дизель мощностью 150 *л. с.* для приведения в движение транспортерной ленты; *9*—кабина; *10*—винтовой автоматический механизм для поворота фермы транспортера; *11*—шарнир; *12*—маятниковый включатель для наклона фермы моста при разработке выемок; *13*—электродвигатель; *14*—прожектор.

Несущей конструкцией отвального моста (рис. 50) является сварная ферма *1* с верхней *2* и нижней *3* опорными тележками. Ферма состоит из четырех секций, жестко связанных друг с другом, и одной секции с шарнирным соединением *11*.

Изменяя длину вставок, можно получить несущую ферму длиной от 27,38 до 47,33 *м* (через 5 *м*). Нижняя опора моста двухколесная, верхняя четырехколесная (двухосная). Колеса на пневматических шинах размерами 18×28 дюймов. Обе тележки соединены с основной фермой шарнирно. Верхняя тележка имеет роликовые опоры *4*, по которым может перемещаться

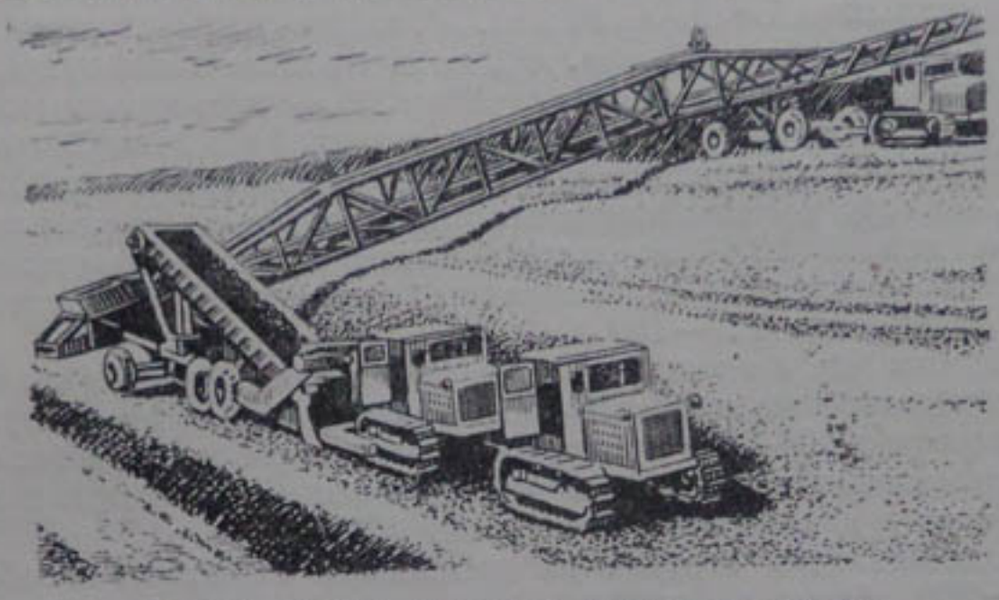


Рис. 51. Работа струга с отвальным мостом.

ферма моста относительно тележки. Каждая тележка имеет сцепные устройства, что обеспечивает возможность реверсивной работы. Нижняя тележка при работе отвального моста сцепляется со стругом.

Шарнирное устройство опор *5* и *6* обеих тележек и возможность перемещения фермы по верхней тележке позволяют машине работать на неровной местности с изменением расстояния между опорами и забеганием одной опоры относительно другой.

На ферме отвального моста уложен желобчатый транспортер *7*, привод которого осуществляется от двигателя *8* мощностью 150 *л. с.*

При разработке выемки с поперечным перемещением грунта в дамбу или кавальер ферма моста наклоняется автоматическим маятниковым включателем *12*. Машина передвигается двумя тракторами С-80 или трактором мощностью 140 *л.с.* Отвальный мост работает на прицепе у одного трактора С-80. Экипаж состоит из пяти человек; рабочая скорость—на I передаче. Ширина резания 3 *м*, глубина резания 0,6 *м*, скорость движения транспортерной ленты 2,96 *м/сек*, вес струга 17,5 *т*, мощность дизельных двигателей 150 *л. с.* Длина отвального моста может изменяться от 27 до 47 *м*, наибольшая высота подъема грунта 13 *м*, наибольший угол наклона моста 22°, вес моста 22,6 *т*.

Струг с отвальным мостом испытывался в 1955 г. на строительстве канала Северный Донец—Донбасс шириной по дну 3 *м* и по верху 25—40, глубиной 5,7 *м*, с заложением откосов 1 : 2; грунт—глина нормальной влажности [1]. Длина участка работ 1 *км*. Струг работал на прицепе у двух тракторов С-80, а отвальный мост на прицепе у одного трактора С-80. Работа велась послойно от внешних бровок канала к середине его. Отвальный мост сохранял во время работы поперечное положение, отклоняясь лишь на 8° (согласно его конструкции).

Разработка забоя длиной в 1 *км* на I передаче трактора (скорость 2—2,5 *км/час*) занимала 25—30 *мин*, а полные повороты на концах участка 20—

[1] М. Н. Кривский. Первые результаты эксплуатации струга Д-264 с отвальным мостом. «Гидротехническое строительство» № 2, 1956.

30 *мин*. Согласно хронометражным наблюдениям производительность струга за время нахождения агрегата в наряде составила 313 *м*³/*час*, а в течение полезного времени 785 *м*³/*час*.

Землеройные струги, выпускаемые в США фирмой Юклид, получили за последние годы широкое распространение как в Америке, так и в Европе[1].

В 1950 году было закончено строительство гидростанции Андрэ-Блондель на р. Роне. Объем земляных работ был 50 млн. *м*³. На этих работах применялись американские землеройные струги. В США землеройные струги применялись также на строительстве плотины Хален-Каунти в штате Небраска с объемом земляных работ около 10 млн. *м*³, на постройке плотины Полисейдес в штате Айдахо (объем 2,3 млн. *м*³), на подготовке площадки для строительства завода со срезкой грунта на глубину 3,9 *м* с насыпями высотой 5,1 *м*.

Струги фирмы Юклид срезают стружку шириной в 2,26 *м*, толщиной 15—60 *см*; при боковом расположении ножа можно разрабатывать забой высотой около 3,5 *м*. На струге установлен двигатель мощностью 150 *л.с.* для привода транспортера длиной 19,67 *м*; ширина ленты 1372 *мм*, высота погрузки 3,2 *м*. Передвижение струга осуществляется одним или двумя гусеничными тракторами мощностью 120—150 *л.с.*

Характерным для американских стругов является работа их непосредственно на транспортные приборы—самосвалы, а чаще всего полуприцепы-самосвалы емкостью 10—19 *м*³, разгружающиеся через дно кузова; они перемещаются со скоростью 50—55 *км*/*час* двухосными колесными тягачами седельного типа с двигателями мощностью 190—300 *л. с.*

Производительность стругов на указанных стройках колебалась от 400 до 500—700 *м*³/*час*; в отдельные дни производительность доходила до 1000 *м*³/*час*. На строительстве плотины Полисейдес на одной и той же работе по возведению водонепроницаемого ядра были использованы три типа землеройных машин: драглайн с ковшом емкостью 5,3 *м*³, экскаватор с ковшом емкостью 4,2 *м*³ и землеройный струг. Производительность их соответственно была: 213—255, 240—340 и 390—500 *м*³/*час*.

Таким образом, как по нашим, так и по зарубежным данным производительность стругов может значительно превышать производительность мощных экскаваторов.

§ 3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИМЕНЕНИИ ГРЕЙДЕР-ЭЛЕВАТОРОВ

На ирригационном строительстве грейдер-элеваторы могут использоваться для отрывки каналов с перемещением грунта в дамбы или кавальеры, для отсыпки из резервов дамб и подушек оросительных каналов.

Грейдер-элеваторы, при работе их на транспорт, успешно могут применяться и при разработке котлованов гидросооружений, карьеров и каналов при наименьшей ширине выемки по дну в 15,5 *м*. При работе на транспорт обязательно прикрепление к грейдер-элеватору достаточного количества транспортных средств (определяется расчетом) и поддержание дорог в исправном состоянии для бесперебойной подачи транспортных приборов. Необходимо обеспечить также достаточную протяженность фронта работ (500—1000 *м*) для сокращения времени на повороты. Желательно, чтобы фронт работ был прямолинейным. При увеличении длины фронта работ с 300 до 500—1000 *м* производительность грейдер-элеватора возрастает на 5—13%; при дальнейшем увеличении фронта работ производительность возрастает незначительно.

Наиболее благоприятна для работы грейдер-элеваторов равнинная местность без бугров и ям, так как насыпь, образуемая машиной, повторяет рельеф резерва, и приходится ее досыпать в местах понижения резерва и срезать в точках, соответствующих высоким его отметкам. Этого можно избежать

---

[1] М. Н. Кривский, А. С. Сафронов. Землеройный струг. «Гидротехническое строительство» № 7, 1955.

путем предварительной планировки трассы при отсыпке дамб из резервов и разработке выемок в дамбы. Предварительная планировка целесообразна также при разработке котлованов и карьеров.

Грейдер-элеваторы наиболее эффективно работают при разработке грунтов II—III категорий, которые при резании образуют стружку, с небольшими потерями (порядка 5%), поступающую на ленту транспортера.

При разработке несвязных грунтов (песков, галечников) потери при передаче срезанного диском грунта на транспортер существенно увеличиваются. Вязкие грунты налипают как на дисковый плуг, так и на транспортерную ленту; поэтому разработка таких грунтов грейдер-элеватором менее эффективна.

Наибольшую производительность грейдер-элеватор обеспечивает при рабочем ходе на II передаче и при холостом—на III—IV.

Предварительное рыхление грунта обычно не производится, так как при этом нарушается связность грунта и ухудшается подача его на транспортерную ленту.

§ 4. ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ. ПУТИ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ РАБОТ

Для нормальной работы грейдер-элеватора необходимо, в зависимости от свойств грунтов, правильно выбирать угол захвата и угол резания; для глинистых и суглинистых грунтов рекомендуется принимать угол резания 20—23° и угол захвата 40°, а для супесчаных грунтов и супесей угол резания 35—40° и угол захвата 55°.

Между углом резания, углом захвата и скоростью движения грейдер-элеватора существует определенная зависимость; правильный выбор этих величин является основой эффективного использования машины и обеспечения наибольшей ее производительности. Передовики грейдер-элеваторщики до закрепления диска в рабочем положении пробуют работу машины при разных значениях указанных величин.

Действительно, производительность машины зависит от размеров сечения срезаемого слоя и скорости его поступления на ленту. Толщина слоя определяется степенью заглубления режущего диска, который, в свою очередь, зависит от угла резания β.

Если наибольшая глубина резания не обеспечивается собственным весом плужной балки, то ее догружают дополнительными балансами. Угол захвата α определяет ширину срезаемого слоя. Интенсивность подачи срезанного грунта на транспортер зависит от скорости движения машины.

Справедливость сказанного подтверждается формулой производительности дискового плуга:

$$П = \omega v \ м^3/час,$$

где ω — площадь вырезаемой стружки в $м^2$;

v — скорость движения грейдер-элеваторов в $м/час$.

Диск должен быть хорошо отточен под углом 10—25°; притупленный диск плохо заглубляется в грунт, что снижает производительность машины.

Для обеспечения нормальной эксплуатации грейдер-элеваторов необходимо сначала выполнить подготовительные работы (выравнивание поверхности, уборка деревьев, корчевка пней и пр.).

Для снижения потерь грунта при подаче его на транспортер передовики производства оставляют между лентой транспортера и режущим диском лишь минимальный зазор не более 40 *мм* (против обычного 70—80 *мм*) необходимый для того, чтобы диск не касался ленты и не прорезал ее.

Один из передовых грейдер-элеваторщиков П. В. Надеждин для снижения потерь грунта пристроил к нижней части транспортера специальный

грунтонаправляющий щиток из листовой стали (рис. 52), в результате чего существенно уменьшились потери грунта, а производительность грейдер-элеватора возросла на 10—15%[1]. П. В. Надеждин значительно повысил производительность грейдер-элеватора в результате увеличения площади борозды. Для этого он разработал специальные методы прохода (рис. 53). Он прорезает сначала первую борозду тремя последовательными проходами, доводя заглубление диска до 250 *мм*; при этом нижний край транспортера ползет по грунту выше режущей кромки диска, благодаря чему потери грунта не превышают 15%. Четвертым проходом он углубляет борозду и только при пятом проходе заглубление диска удается довести до максимального; нижний край транспортера опускается, и потери грунта при подаче на транспортер снижаются до 5%.

При каждом проходе вырезанный, но не попавший на ленту грунт, образует валики (рис. 54); при дальнейших проходах эти валики разравниваются и уплотняются; образуется ровное дно выемки с лежащим на нем потерянным грунтом.

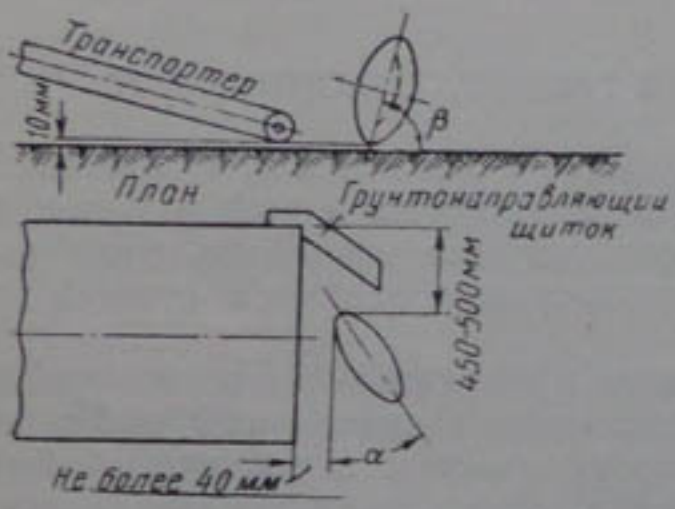


Рис. 52. Рабочая установка дискового плуга.

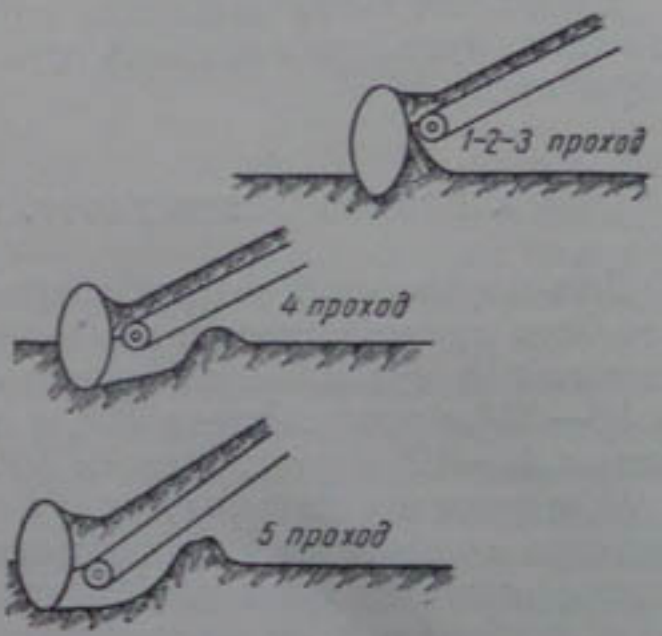


Рис. 53. Схема заглубления в грунт дискового плуга грейдер-элеватора.

Испытания грейдер-элеватора Д-192, во время которых было вынуто 35 319 $м^3$ грунта, показали, что наибольшее тяговое усилие на крюке в грунтах II и III категорий составляют около 5000 *кг*. Это соответствует II скорости движения трактора С-80 (тяговое усилие на крюке 5200 *кг*).

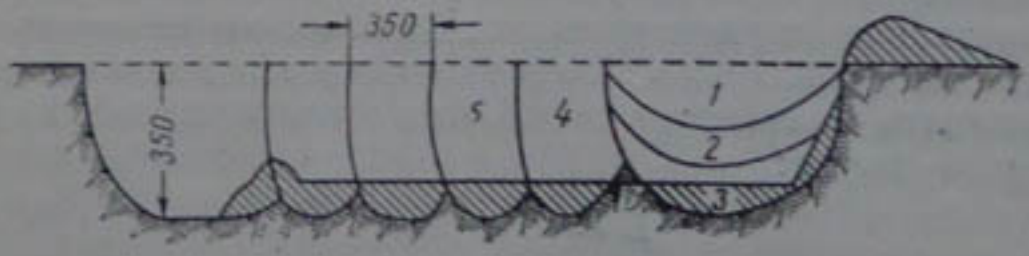


Рис. 54. Поперечный разрез борозды грейдер-элеватора.

При замене трактора С-80 трактором мощностью 140 *л. с.* тяговое усилие на III передаче составляет 6100 *кг*, на II передаче 9200 *кг*, а скорости движения соответственно 92,7 и 62,3 *м/мин*. Значительное увеличение тягового усилия на III передаче дает возможность не только существенно сократить число неполноценных первичных проходок, но и повысить скорость движения на 54% с соответственным увеличением производительности грейдер-элеватора. Это дает возможность увеличить и диаметр диска, что будет иметь результатом также значительное повышение производительности грейдер-элеватора. Наконец, повышения производительности можно добиться применением самоходного грейдер-элеватора Д-369.

[1] М. Ф. Страмоус. Передовой опыт работы на грейдер-элеваторе. Госстройиздат. М., 1955.

Работа по часовому графику. Одним из серьезных факторов, способствовавших повышению производительности труда бригады В. П. Надеждина, была организованная им работа по часовому графику. Она дала возможность избежать непроизводительных потерь рабочего времени, максимально уплотнять рабочий день, заблаговременно подготовлять фронт работ на следующий день, обеспечивать хорошее техническое обслуживание и уход за машиной.

Данные о фактическом использовании рабочего времени в бригаде В. П. Надеждина приведены в таблице 7.

Таблица 7

№ п/п	Название операции	Единица измерения	Затраты времени		
			общая, в минутах	на 1000 м³ грунта, в минутах	в %
1	Приемка грейдер-элеватора и трактора при смене бригад	Одна приемка	15	6,5	3,1
2	Заправка грейдер-элеватора горюче-смазочными материалами на 20 час.	Одна заправка	33	14,5	6,9
3	Разработка грунта грейдер-элеватором (движение с диском в борозде)	100 м³	16	160,2	77,0
4	Переходы грейдер-элеватора из одного резерва в другой	Поворот	0,8	6,3	3,0
5	Мелкий ремонт, отдых и прочее	—	—	20,6	10,0
	Всего	—	—	208,1	100,0

При двух сменах работы по операциям 1 и 2 следует производить в междусменное время; при этих условиях $K_{вр}=0,87$. Работа по технологическому плану повысила культуру производства, дисциплинировала работников бригады и смежных профессий, повысила требовательность в отношении точности и аккуратности выполнения всех работ.

§ 5. СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ

Разработка выемок с укладкой грунта в дамбы или кавальеры ведется по кольцевой схеме при рабочих ходах в обоих направлениях канала (рис.55, *а*).

При разработке части борозд грейдер-элеватор Д-192А расположен в пределах отрываемой выемки, а при разработке других борозд одно колесо находится в пределах выемки, а другое по берме. Наклон откосов выемки и внутренних откосов дамб должен быть не круче предельного угла наклона транспортера, т. е. 1 : 2,5—1 : 3. Откосы выемки получаются в виде ступенек; для придания им проектных очертаний нужно предусмотреть по окончании работы грейдер-элеватора применение грейдера или тракторного отвала.

Отсыпка дамб высотой до 1,0—1,5 *м* может вестись грейдер-элеватором Д-192А из резервов (рис. 55,б). Дамбы досыпаются из резервов после отрытия части поперечного сечения, проходящего в выемке, и укладки вынутого грунта в нижнюю часть дамб. По отрытому сечению в выемке подается вода для уплотнения. Отсыпка таких дамб обходится недорого.

Устройство ирригационных каналов. Устройство небольших каналов в полунасыпи-полувыемке шириной по дну до 0,8 *м*, глубиной в плотном теле до 0,6 *м* может производиться с предварительной отсыпкой грейдер-элеватором подушек из боковых резервов (рис. 56). После укладки грунт разравнивают и уплотняют, а затем канавокопателем вырезают сечение канала с укладкой вынутого грунта в дамбы канала.

Резервы закладывают на глубину 0,2—0,5 *м*; глубина их определяется из условия равенства объема резервов и «подушек» (с учетом разрыхления и уплотнения) и ширины резервов, соответствующей вылету транспортера.

Разработка выемок и котлованов грейдер-элеватором с погрузкой на транспорт обходится дешевле, чем экскаватором с ковшами малой и средней емкости. Из условий возможности размещения в выемке грейдер-элеватора и автомобиля ширина выемки по дну должна быть не менее 15,5 *м* (рис. 57).

Устройство дамб обвалования. Для образования дамб обвалования применяют комбинированную работу: грейдер-элеватор используют для отсыпки нижних слоев дамб высотой примерно 1 *м*, а более высокие слои отсыпают драглайнами или, что выгоднее, скреперами.

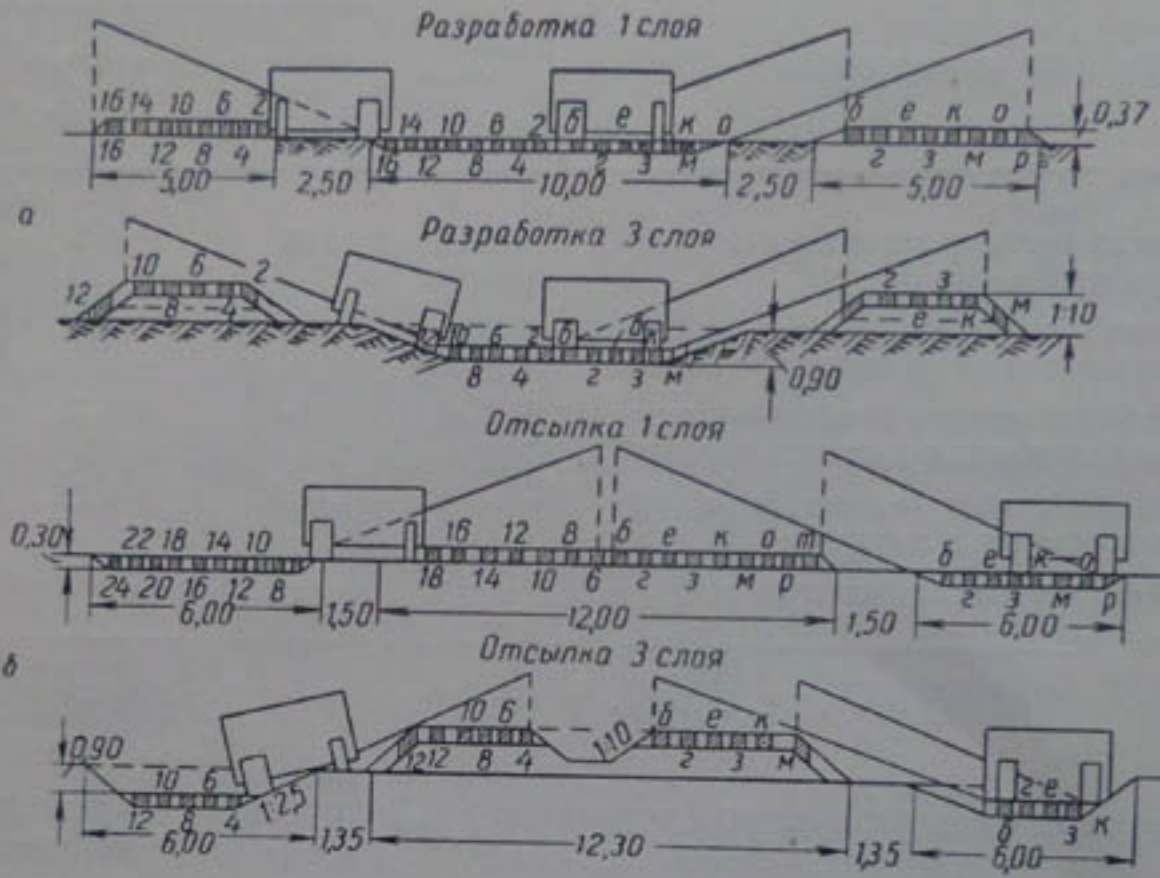


Рис. 55. Разработка выемок (*а*) и отсыпка насыпей (*б*) грейдер-элеватором.

На рисунке 58 показана комбинированная работа по отсыпке железнодорожных насыпей на подходах к Каховскому гидроузлу; сначала грейдер-элеватор ЭМ разрабатывал двусторонние резервы *1* и *2* с отсыпкой крайних частей насыпи (рис. 58, *а*); затем грунт разравнивался грейдером по всей ширине насыпи слоем высотой 0,4 *м* и уплотнялся катками (рис. 58, *б*). После разработки резервов на глубину 0,8 *м* и на ширину 7 *м*, в пределах возможности разработки грейдер-элеватором они переходили на разработку резервов *3* и *4*, расположенных рядом с резервами *1* и *2*. Затем грунт, насыпанный в резервы *1* и *2*, уплотнялся катками для улучшения последующей разработки их грейдер-элеватором, производившейся с транспортировкой грунта в крайние части насыпи (рис. 58, *в*).

Распределение грунта по всей ширине насыпи и уплотнение его производилось, как и ранее, грейдерами и катками. Таким способом удалось отсыпать насыпь высотой 1,6 *м*. Применение способа перекидки из одного резерва в другой оказалось целесообразным ввиду исключительно дешевой разработки грунта грейдер-элеватором и высокой его производительности.

Дальнейшая досыпка насыпи до 3—4 *м* производилась драглайном (рис. 58, *г*), который разрабатывал в первую очередь перемычки *5* между резервами; если же этого объема грунта не хватало, то уширяли бульдозером резерв с перемещением грунта в зону достигаемости драглайна.

Вместо драглайна в комбинации с бульдозером было бы значительно дешевле вести эту работу скрепером.

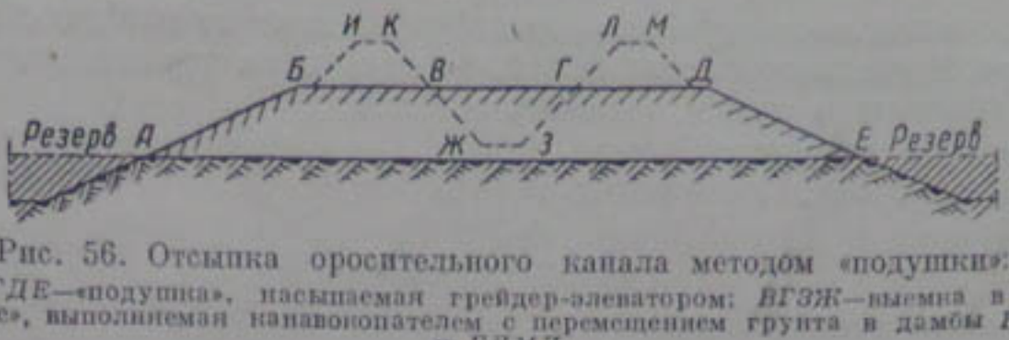


Рис. 56. Отсыпка оросительного канала методом «подушки»:
АБВГДЕ—«подушка», насыпаемая грейдер-элеватором; *ВГЗЖ*—выемка в «подушке», выполняемая канавокопателем с перемещением грунта в дамбы *БИКВ* и *ГЛМД*.

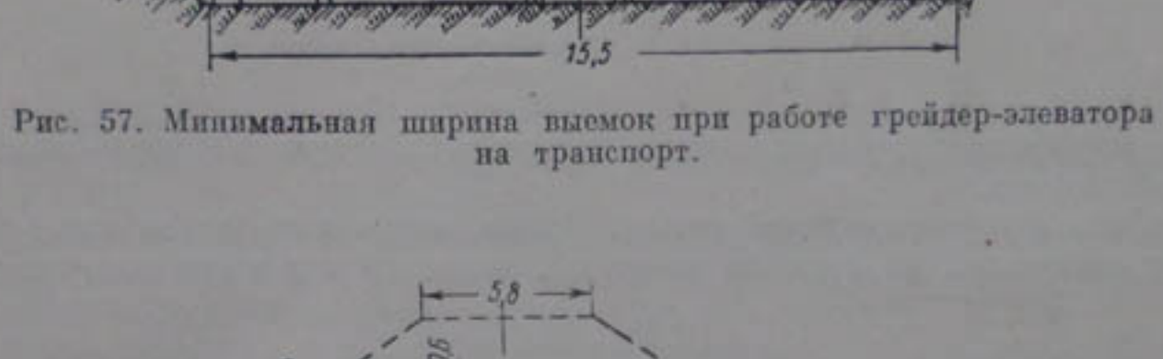


Рис. 57. Минимальная ширина выемок при работе грейдер-элеватора на транспорт.

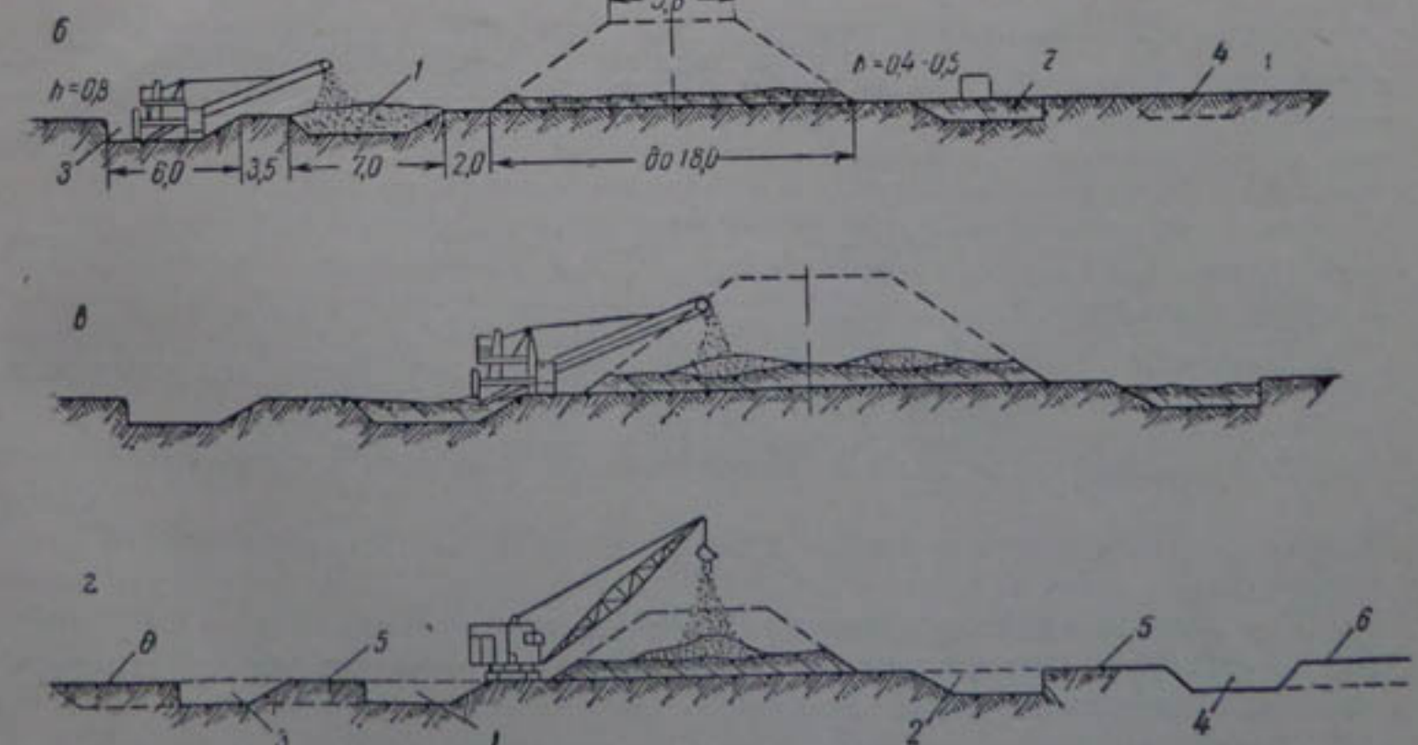


Рис. 58. Отсыпка высоких насыпей комбинированным способом:
а—разработка грейдер-элеватором ЭМ двусторонних резервов *1* и *2* и отсыпка крайних частей основания насыпи; *б*—разравнивание отсыпанного грунта грейдером по всей ширине насыпи и ее уплотнение, разработка резервов *3* и *4* с засыпкой грунта в резервы *1* и *2*; *в*—отсыпка грунта в насыпи на засыпанных резервов *1* и *2*; *г*—досыпка насыпи канатно-скребковым экскаватором до высоты 3—4 *м*, *1* и *2*—первоначально разрабатываемые резервы; *3* и *4*—резервы, разрабатываемые во вторую очередь; *5*—перемычка, разрабатываемая канатно-скребковым экскаватором.

§ 6. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ГРЕЙДЕР-ЭЛЕВАТОРОВ

Производительность грейдер-элеватора зависит от площади вырезаемой борозды, процента потерь при передаче грунта на транспортер, скорости движения машины и схемы организации работ.

Работа в двусторонний отвал. Время, затрачиваемое грейдер-элеватором на один рабочий ход, составляет:

$$t = \frac{L_{фр}}{v_{раб}} + t_{пов}, \tag{49}$$

где $L_{фр}$ — длина фронта работ;

$v_{раб}$ — скорость рабочего хода;

$t_{пов}$ — время на поворот в конце фронта работ, равное 1 *мин*.

Производительность равна:

$$П = \omega \alpha L_{фр} n, \tag{50}$$

где ω — площадь вырезаемой борозды;

n — число рабочих ходов в смену, равное

$$n = \frac{480 K_{вр}}{\frac{L_{фр}}{v_{раб}} + t_{п}}; \tag{51}$$

α — коэффициент, учитывающий потери грунта при передаче с плуга на транспортер.

Работа в односторонний отвал. Время, затрачиваемое на один рабочий ход, складывается из времени на набор, холостой ход и два поворота:

$$t = \frac{L_{фр}}{v_{раб}} + \frac{L_{фр}}{v_{пор}} + 2t_{пов},$$

где $v_{пор}$ — скорость холостого хода машины.

Производительность грейдер-элеватора определяется по формуле (50), а число рабочих ходов по формуле:

$$n = \frac{480 K_{вр}}{t}. \tag{52}$$

Работа на транспортер происходит как и при двустороннем отвале, с той лишь разницей, что во время смены транспортных приборов грейдер-элеватор останавливается, а транспортер не работает. Время на один рабочий ход определяют по формуле:

$$t = \frac{L_{фр}}{v_{раб}} + t_{см}\left(\frac{L_{фр}}{l_1} - 1\right) + t_{пов}, \tag{53}$$

где $t_{см}$ — время на смену одной автомашины другой;

$t_{пов}$ — время поворота; по Единым нормам выработки и расценкам (ЕНВ и Р) $t_{пов} = 1$ *мин*, $t_{см} = 0{,}2$ *мин*;

l_1 — длина пути, проходимого грейдер-элеватором при погрузке транспортного прибора;

$$l_1 = \frac{V}{\omega \alpha \alpha_1};$$

V — емкость транспортного прибора;

α и α_1 — коэффициенты, учитывающие потери при передаче на транспортер и на транспортный прибор:

$$\alpha = 0{,}9 \div 0{,}95;$$

$$\alpha_1 = 0{,}92 \div 0{,}95.$$

По формуле (52) определяется число рабочих ходов n, по формуле (53) время на один рабочий ход, а по формуле (50) производительность грейдер-элеватора.

Формула (53) для t справедлива при одном транспортном приборе (автомашина без прицепа, трактор с одним прицепом).

Если в поезде имеется несколько транспортных приборов (автомашина с прицепом, трактор с двумя прицепами), то в формуле (53) вместо $t_{см}$ нужно принимать

$$t_{см} + (m-1)\, t'_{см}, \tag{54}$$

где $t'_{см}$ — время на подтягивание под грейдер-элеватор следующего транспортного прибора из состава поезда;

m — число единиц в поезде.

Число автомашин N, необходимых для бесперебойного обслуживания грейдер-элеватора, определяется по формуле:

$$(N-1)\, T_{пог} = T_{п} + T_{разг} + T_{зад}, \tag{55}$$

где $T_{п}$ — время пути груженой автомашины на разгрузку и обратно;

$T_{разг}$ — время разгрузки;

$T_{зад}$ — время задержек в пути (при хорошей организации работ $T_{зад} = 0$).

Далее имеем:

$$T_{пог} = t_{пог} + t_{см};\ t_{пог} = \frac{V}{\Pi} K_{разр}. \tag{56}$$

Расчеты показывают весьма низкую стоимость разработки грунта грейдер-элеваторами по сравнению с другими землеройными машинами как при работе в отвал, так и на транспорт.

Положительные свойства грейдер-элеватора объясняются тем, что дисковый плуг дает высокую производительность на разработке, а ленточный транспортер—на перемещении грунта.

Следует, наконец, указать что грейдер-элеваторы, отсыпающие грунт слоями в отвал, можно применять для возведения дамб с послойным уплотнением.

§ 7. ПРИМЕНЕНИЕ ГРЕЙДЕР-ЭЛЕВАТОРОВ НА ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ РАБОТАХ

Грейдер-элеваторы, как машины, обеспечивающие хорошее качество, высокую производительность и весьма низкую стоимость работ, должны найти широкое применение на гидромелиоративных и гидротехнических работах.

При разработке котлованов, карьеров и выемок на транспорт в грунтах II—III категорий наибольшая ширина разрабатываемой выемки ограничивается длиной транспортера и для грейдер-элеватора Д-192А составляет по верху 18 *м*, при наибольшей глубине выемки 1,5 *м*; наименьшая ширина выемок по дну 15,5 *м*. Глубина выемок ограничивается лишь указанной минимальной их шириной по дну. Следовательно, при работе на транспорт, кроме котлованов и карьеров, могут разрабатываться широкие магистральные каналы, коллекторы, подводящие и отводящие каналы к гидроузлам.

Грейдер-элеваторы следует применять также для разработки мелких выемок глубиной около 1,5 *м*, с укладкой грунта в дамбы, а при использовании самоходного грейдер-элеватора Д-369—для выемок глубиной до 4 *м*. Прицепные грейдеры можно применять для отсыпки дамб из резервов высотой до 1,5 *м*, самоходные—для дамб высотой до 3 *м* и для устройства небольших ирригационных каналов методом «подушки», а также при постройке землевозных и других строительных дорог.

Глава VII

КАНАВОКОПАТЕЛИ, ПАЛОДЕЛАТЕЛИ, ПЛАНИРОВЩИКИ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИХ РАБОТЫ

§ 1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

На ирригационных работах канавокопатели применяются для отрывки небольших распределительных каналов, нарезки временных оросителей и выводных борозд, а также для устройства неглубоких каналов водосборной и сбросной сетей. На осушительных работах канавокопатели отрывают канавы мелкой открытой осушительной сети в минеральных грунтах, не имеющих крупных древесных и каменистых включений, а также в торфяных грунтах; они используются, кроме того, для отрывки траншей, неглубоких дрен, а также для очистки каналов. Канавокопатели отрывают каналы небольшой глубины—0,6—1 *м*, шириной по дну от 0,20 до 0,8 *м*, с откосами 1 : 0,5—1 : 1,25.

Характерной чертой этих машин является высокая производительность и весьма дешевая стоимость разработки. Для прокладки мелких каналов системы орошения разработаны и внедрены новые типы канавокопателей, навешиваемых на трактор или прицепляемых к нему в качестве одного из видов сменного оборудования. В комплект сменного оборудования входят также палоделатели и планировщики.

На строительстве и эксплуатации оросительных и осушительных каналов применяют различные канавокопатели и канавопалоделатели.

Универсальный канавокопатель-палоделатель УКП представляет собой прицепное орудие с двухколесным передком, на раму которого навешиваются сменные рабочие органы: для нарезки оросителей и выводных борозд, для поделки пал (валиков), для глубокого рыхления почвы, подрезки корней, сорной растительности и разрушения поверхностной корки.

Для работы с канавокопателем или культиватором-рыхлителем требуется трактор средней мощности (КД-35), а с палоделателем—более мощный трактор (ДТ-54).

Рама передка *8* универсального канавокопателя УКП (рис. 59, *а*) состоит из двух продольных полых брусьев, соединенных между собой поперечным угольником и полосой. К поперечному угольнику присоединено прицепное устройство *11* с восемью отверстиями, что позволяет регулировать положение рамы по высоте.

К раме болтами прикреплены кронштейн *13* винтового механизма *10*, направляющая шатуна, подшипники колес, левое колесо является ведущим для работы автомата и снабжено шпорами.

Подъемный механизм служит для автоматического перевода орудия из рабочего положения в транспортное путем изменения угла наклона колена коленчатой оси ходовых колес к горизонту, благодаря чему рама с рабочими органами поднимается или опускается шатуном.

Для смягчения удара рабочих органов о землю при переводе орудия из транспортного в рабочее положение служат две амортизационные пружины.

Для регулировки заглубления рабочих органов имеется винтовой механизм *10*, которым, в случае порчи автомата подъема или наезда на какое-либо препятствие во время работы, орудие может быть поднято в транспортное положение независимо от автомата.

Двухотвальный канавокопатель УКП (рис. 59, *б*) имеет корпус *1* из двух цилиндрических отвалов, жестко скрепленных между собой под углом 54° посредством двух распорных труб *5* и косынок. Корпус канавокопателя прикреплен болтами к стойке *4*, к основанию которой крепится нож *3* и два симметричных лемеха *2* с захватом 25 и 40 *см*, служащие для образования дна канала. Стойка корпуса прикреплена болтами и косынками *4* (рис. 59, *а*)

к квадратному стержню 7, соединенному с квадратным брусом передка. В косынках имеются четыре отверстия, что позволяет изменять направление стойки и угол наклона канавокопателя; благодаря этому можно изменять откосы отрываемых каналов.

Ширина отрываемого канала по дну 0,21 *м*, глубина выемки 0,24 *м*, общая глубина 0,40 *м*; заложение откосов 1 : 1—1 : 1,2.

Среднее тяговое усилие равно 700 *кг*. Производительность при работе за один проход составляет 4,6 *км/час*.

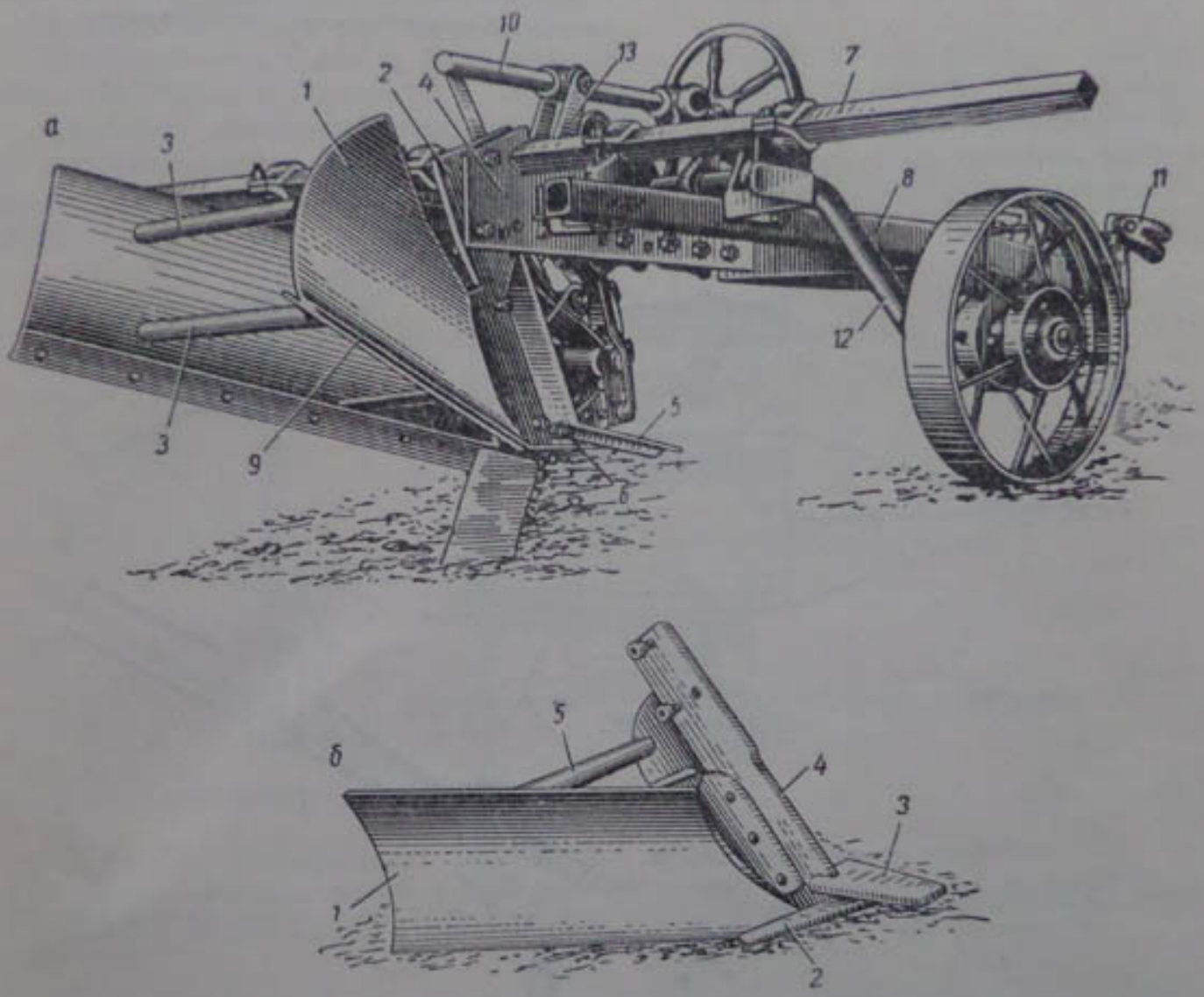


Рис. 59. Универсальный канавокопатель-палоделатель УКП:

а—УКП с навешенным канавокопателем: *1*—корпус канавокопателя на двух отвалах; *2*—стойка, к которой прикрепляется корпус; *3*—трубы, скрепляющие оба отвала; *4*—косынки, скрепляющие оба отвала; *5*—нож, прикрепляемый к основанию стойки; *6*—демешки для вырезания дна канала; *7*—квадратный стержень, к которому прикрепляется косынками стойка *2*; *8*—рама передка; *9*—стальные ножи, прикрепляемые к нижней кромке отвалов; *10*—механизм заглубления рабочего корпуса; *11*—прицепное устройство; *12*—колесо оси ходовых колес; *13*—кронштейн. *б*—канавокопатель к орудию УКП: *1*—корпус канавокопателя; *2*—демехи; *3*—нож; *4*—стойка; *5*—распорные трубы.

Палоделатель УКП (рис. 60, *а*) состоит из отвалов *1* и *2*, установленных один против другого своей вогнутой частью; к нижним кромкам отвалов прикреплены стальные ножи *8*. Отвалы связаны между собой поперечными квадратными стержнями *3* и *4*, причем передний стержень прикреплен к раме передка *12*. В плане отвалы расположены наклонно к оси хода, благодаря чему вырезанный ножами отвалов грунт передвигается вдоль отвалов и образует валик (палу), поперечное сечение которого определяется расстоянием между отвалами в их задней, суженной части. Палоделателем можно производить также засыпку небольших каналов.

Высота насыпаемого валика до 0,35 *м*, ширина по верху до 0,17 *м*, ширина валика по основанию 0,8—1,2, глубина резервов до 0,20 *м*; заложение откосов 1 : 1—1,2; производительность 3,7 *км* валиков в час.

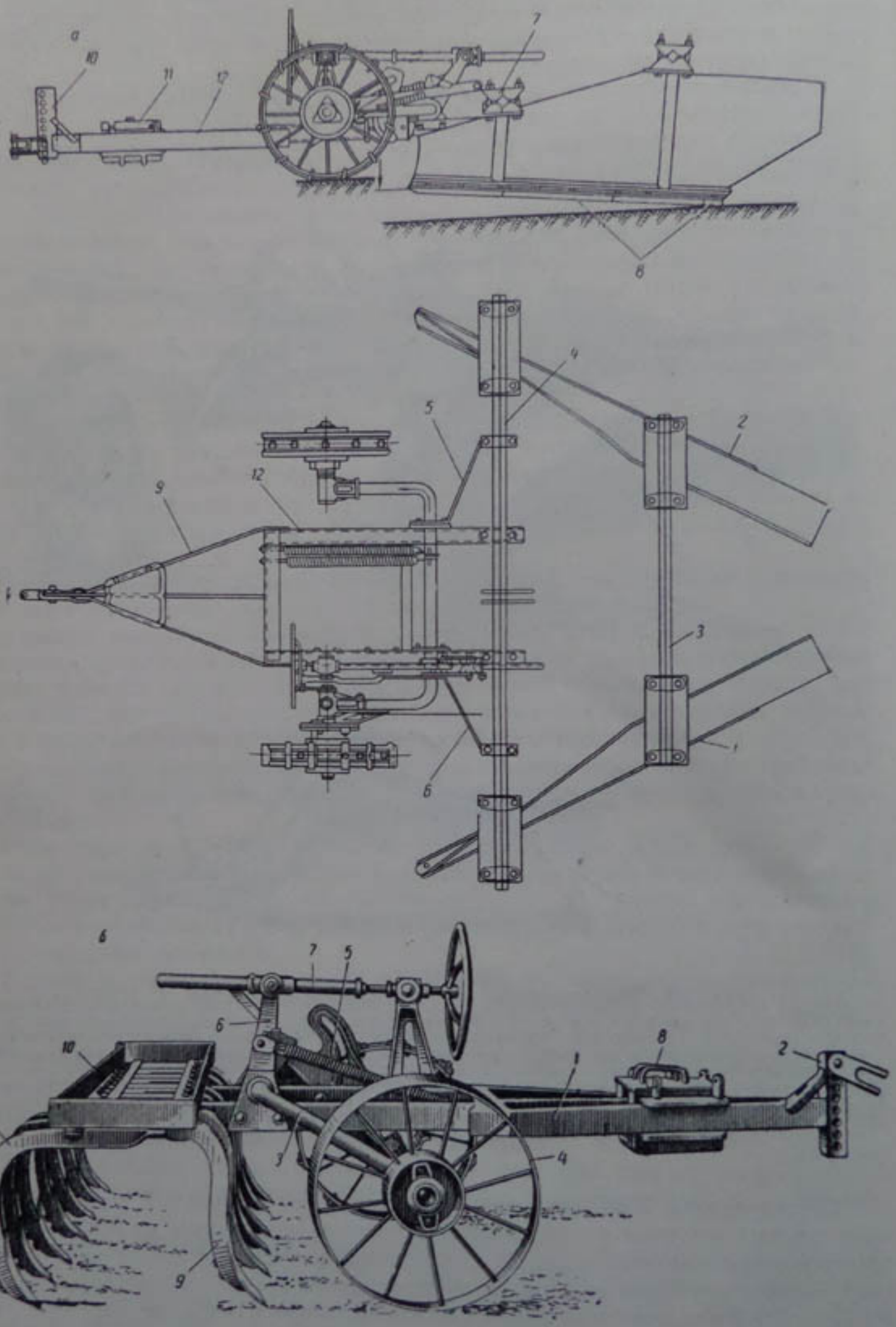


Рис. 60. Сменные рабочие органы УКП:

а—культиватор-палодеватель УКП: *1*—левый отвал, *2*—правый отвал; *3*—задний квадратный стержень; *4*—передний квадратный стержень; *5* и *6*—распорки; *7*—державки; *8*—ножи отвалов; *9* прицеп; *10*—планка прицепа; *11*—инструментальный ящик; *12*—рама пе-редка. *б*—УКП с навешенным рыхлителем; *1*—передок; *2*—прицеп; *3*—колено оси ходового колеса; *4*—правое колесо без шпор; *5*—амортизационные пружины; *6*—кронштейн винтового механизма; *7*—винтовой механизм; *8*—ящик для инструмента; *9*—зубья; *10*—крепление зубьев к передку.

Рама рыхлителя УКП (рис. 60, *б*) из поперечных и продольных угольников прикреплена болтами *10* к раме передка *1*; рыхлящие зубья *9* присоединяются к раме болтами. Рыхлители расположены на раме в два ряда в шахматном порядке с просветом между рыхлителями каждого ряда 40 *см*.

Применяются узкорыхлящие лапы с шириной захвата 5 *см*—для рыхления почвы, и плоскорежущие с шириной захвата 25 *см*—для подрезания корней сорной растительности и разрушения поверхностной корки. К заднему угольнику рамы рыхлителя прикреплена скоба *2* для прицепки бороны. Ширина захвата 2,6 *м*, число рыхлителей тринадцать, из них задних семь и передних шесть.

Максимальная глубина рыхления 25 *см*, тяговое усилие 1000 *кг*; техническая производительность 0,9 *га/час* при скорости движения 3,5 *км/час*.

Навесной канавокопатель-палоделатель КПН (рис. 61) представляет собой универсальную раму, навешиваемую на трактор, с комплектом рабочих органов: канавокопателем, палоделателем и ковшом для планировочных работ.

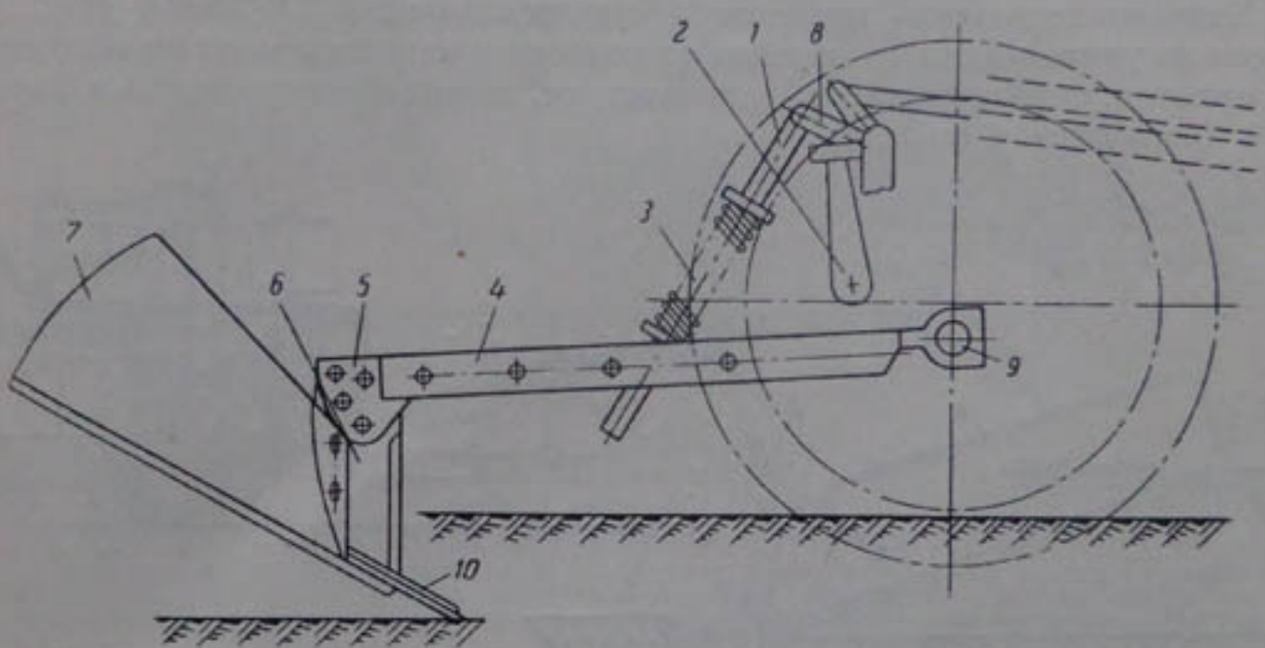


Рис. 61. Универсальная рама КПН с навешенным канавокопателем:
1—тяги; *2*—шатун; *3*—пружины, установленные на тягах *1*; *4*—продольные трубчатые прямоугольные рамы; *5*—косынки рамы; *6*—стойка; *7*—корпус канавокопателя; *8*—качалка; *9*—цапфа прицепной серьги трактора; *10*—нож для подрезания дна канавы.

Универсальная рама состоит из двух продольных балок *4* в виде труб, соединенных поперечной балкой и раскосами; она прикрепляется к цапфам *9* прицепной серьги трактора. Тягами *1* рама соединена с валом механизма подъема, соединенным шатуном *2* с кривошипом автомата трактора; к валу механизма подъема приварены две качалки *8*, соединенные с тягами *1*.

Подъем рамы и укрепленных на ней рабочих органов в транспортное положение и опускание ее в рабочее положение производится от автомата трактора.

Регулировка заглубления рабочих органов производится изменением длины тяг и натяжением пружин *3*, которое регулируется верхними установочными кольцами. Для установки рамы на трактор требуется 30 минут, для снятия—12 минут.

Канавокопатель имеет корпус *7* из двух отвалов, жестко соединенных между собой; корпус прикрепляется к стойке *6*, а последняя косынками *5* присоединена к раме *4*. К нижней части отвалов прикреплены лемехи, а на стойке закреплен нож *10* для подрезания дна канавы.

Угол наклона корпуса канавокопателя к вертикальной плоскости (между вертикалью и ребром стойки) можно изменять от 5 до 25°, в связи с чем изменяются размеры отрываемого канала: глубина выемки—от 15 до 24 *см*, ширина на уровне земли—от 60 до 66 *см*, полная глубина—от 28 до 44 *см*,

ширина по верху — до 100 *см*, откосы — от 1 : 1 до 1 : 2. На установку канавокопателя на раме требуется 3 минуты, на снятие — 2 минуты.

Палоделатель, присоединяемый к навесной раме, имеет такое же устройство, как УКП. Регулируя угол наклона в вертикальной плоскости, можно придавать насыпаемым валикам следующие размеры: высоту от 26 до 27 *см*, ширину по поверхности земли от 80 до 84 *см*, ширину по верху от 0 до 10 *см*, глубину резерва от 11 до 12 *см*. На установку палоделателя требуется 10 минут, на снятие — 6 минут.

Ковш для планировочных работ емкостью 0,2 $м^3$ имеет две боковые стенки; к задней стенке цилиндрической формы прикреплен плоский нож с заточкой; дна нет. Задняя стенка усилена уголками и ребрами, через отверстие которых ковш крепится болтами к раме. Положение ковша не регулируется по отношению к раме. На установку ковша требуется 9 минут, на снятие — 4 минуты.

Перед планировкой производится рыхление плугом или культиватором-рыхлителем.

Канавопалоделатель прицепной универсальный КПУ-2000А (рис. 62) состоит из универсального передка на колесах и навешиваемых на него сменных органов: канавокопателя, палоделателя, ковша-планировщика и рыхлителей (большого и малого).

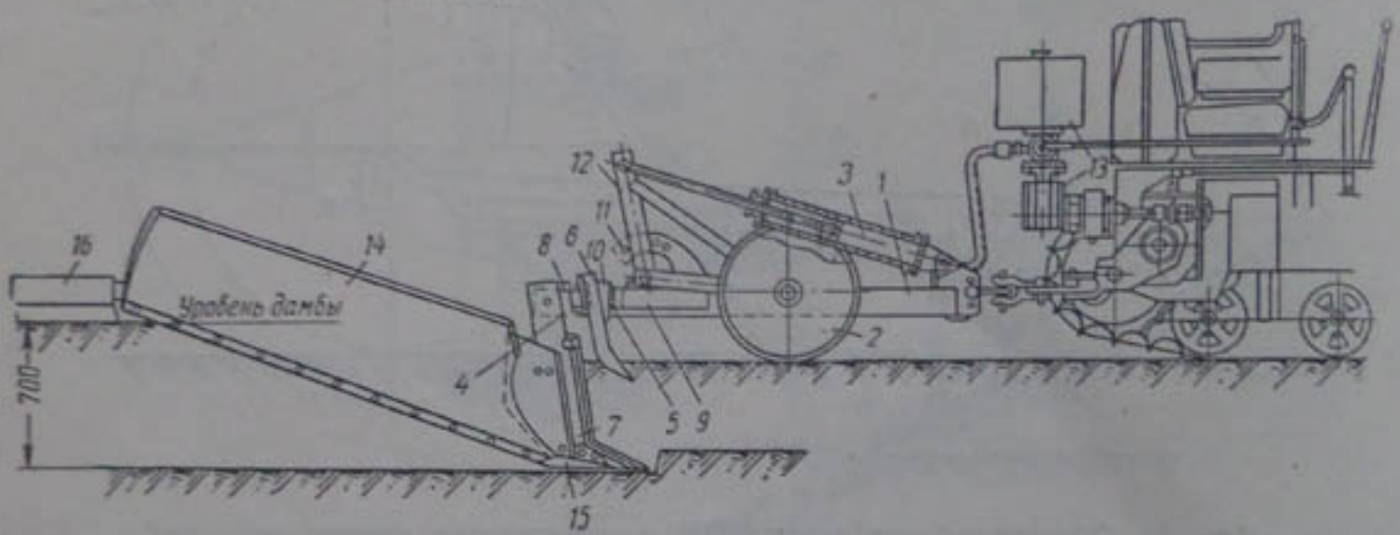


Рис. 62. Канавопалоделатель КПУ-2000А на универсальной раме с навешенным канавокопателем:

1—рама машины; *2*—колесный ход; *3*—гидравлический подъемник; *4* и *5*—пазы; *6*—боковой рыхлитель; *7*—центральный рыхлитель; *8*—клин; *9*—скоба; *10*—клин; *11*—кронштейн; *12*—стойка; *13*—универсальный гидравлический привод УГ-1М; *14*—канавокопатель; *15*—лемех; *16*—бермоочиститель.

КПУ-2000А рассчитан на работу с трактором ДТ-54. Рама *1* универсального передка жесткой сварной конструкции снабжена гидравлическим подъемником *3* со штоком, поднимающим или опускающим раму с укрепленным на ней сменным органом. Канавокопатель и палоделатель имеют конструкцию, аналогичную тем же орудиям УКП; скреперный ковш емкостью 0,63 $м^3$ аналогичен по конструкции ковшу навесного орудия КПН.

Канавокопатель выполняет каналы шириной по дну 0,3—0,4—0,5 *м*, глубиной в плотном теле до 0,4 *м* и заложением откосов 1 : 1—1 : 1,5.

Планировщик с захватом 7,5 *м* служит для планировки полей, а рыхлители — для разрыхления грунта перед проходом канавокопателя.

Плужные канавокопатели КМ-800 и КМ-1000А (рис. 63) имеют аналогичные конструкции основных узлов и отличаются друг от друга только геометрическими размерами копающих органов, ножевой балки и расстоянием между боковыми ножами.

Канавокопатель состоит из следующих узлов: рабочего органа *1* с задним колесом *7*, боковых *4* и среднего *5* ножей для подрезки грунта, основной рамы *2*, ходовой рамы *3* с колесным ходом *8*, механизма автоматического выглубления и ручной лебедки *9*.

Рабочий орган канавокопателя представляет собой два отвала из листовой стали толщиной 6 *мм*, соединенных между собой; он выполнен заодно целое с основной рамой 2. К отвалам в их вертикальной части шарнирно прикреплены бермоочистители, распертые тягами.

Ходовая рама имеет ферму, на которой расположена лебедка 9. Основная рама вместе с рабочим органом имеет возможность благодаря шарниру перемещаться в вертикальной плоскости между стойками фермы ходовой рамы.

Подъем и опускание основной рамы с рабочим органом производится канатом, намотанным на барабан лебедки.

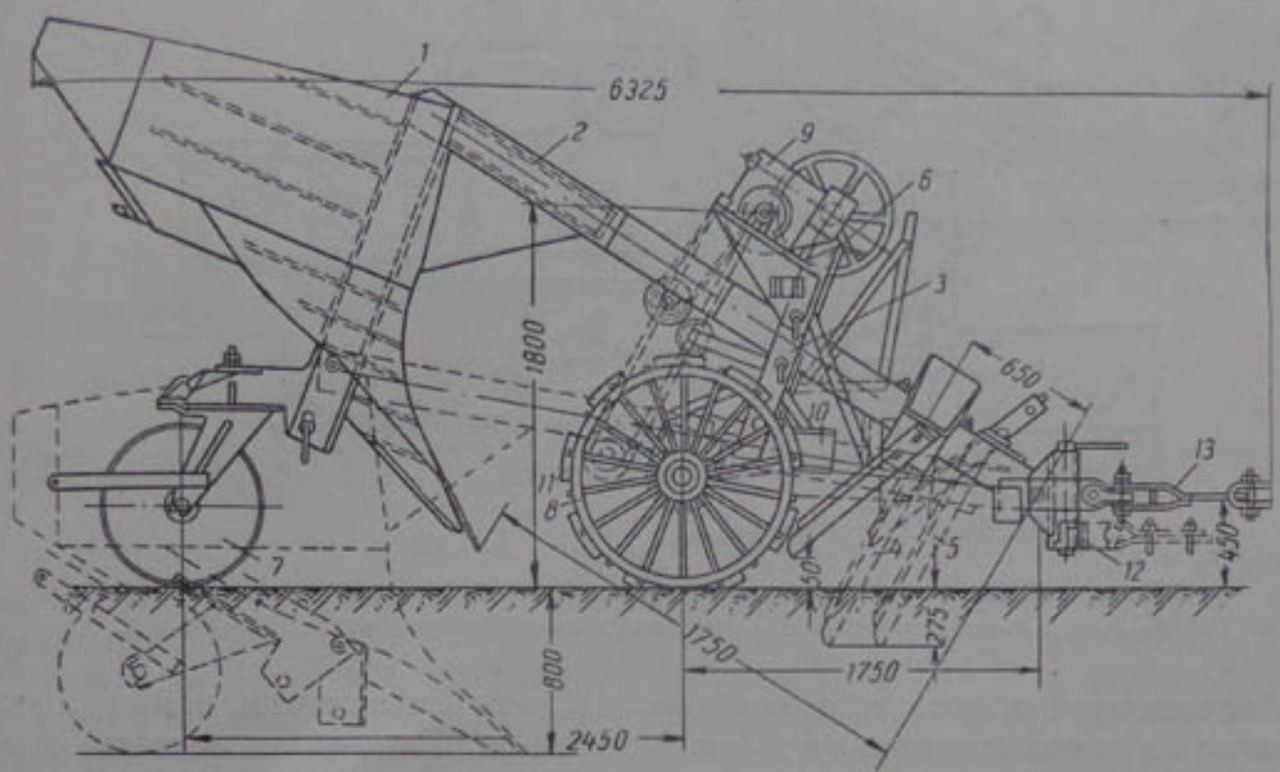


Рис. 63. Канавокопатель КМ-800:

1—рабочий орган; *2*—основная рама; *3*—ходовая рама; *4*—боковые ножи; *5*—средний нож; *6*—механизм отключения звездочки; *7*—задние колеса; *8*—колесный ход; *9*—лебедка; *10*—инструментальный ящик; *11*—упиритель колеса; *12*—тяговый канат; *13*—транспортное дышло.

Основная рама и рабочий орган фиксируются в определенном положении штырями, вставленными в отверстия в стойках фермы рабочего хода. Для увеличения сцепного веса колеса канавокопателя снабжены съемными шпорами. Канавокопатели КМ-800 и КМ-1000А работают на прицепе двух тракторов С-80, а транспортируются одним трактором С-80. Ширина отрываемого канала по дну 0,2 *м*, глубина соответственно 0,8—1 *м*, заложение откосов 1 : 1—1 : 0,5, ширина берм 0,5—0,65 *м*, высота дамб 0,2 *м*.

В модернизированных канавокопателях КМ-800М и КМ-1000М копающий орган подвергся лишь незначительному изменению в месте соединения его с основной рамой. Поэтому профиль разрабатываемых ими канав остался таким же, как и у канавокопателей КМ-800 и КМ-1000А. Модернизация канавокопателей в основном сведена к изменению механизма выглубления и заглубления рабочего органа с помощью троса от тягового усилия переднего трактора.

Управление канавокопателем с помощью нового механизма выглубления проще и не требует затраты физической силы обслуживающего персонала.

Длина пути заглубления сократилась до 2 *м* вместо 5—6 *м* у канавокопателей КМ-800 и КМ-1000А; сократилось и время на заглубление. Выглубление модернизированных канавокопателей производится на месте, тогда как выглубление канавокопателей КМ-800 и КМ-1000А производилось на длине 9 *м*.

Минский завод дорожных машин выпускает также канавокопатели КМ-1200М и КМ-1400М со средним удельным давлением на грунт 0,22 *кг/см*^{2} против 0,4 *кг/см*^{2} у канавокопателей КМ-800М и КМ-1000М. Канавокопатель

КМ-1200М работает в сцепе с двумя-тремя тракторами С-80БМ и нарезает каналы шириной по низу 0,4 *м*, по верху 2,8 *м*, глубиной 1,2—1,5 *м*, а канавокопатель КМ-1400М выполняет каналы шириной по низу 0,2 *м*, по верху 1,8—3 *м*, глубиной 1—1,2 *м* при тяге двух тракторов С-80БМ.

Навесной канавокопатель КПР-700 (рис. 64) конструкции СНИИГиМ предназначен для нарезки канав мелкой осушительной сети в минеральных грунтах. Навесная рама *1* представляет П-образную сварную конструкцию из трубы диаметром 300 *мм*, к концам которой приварены щеки; к последним

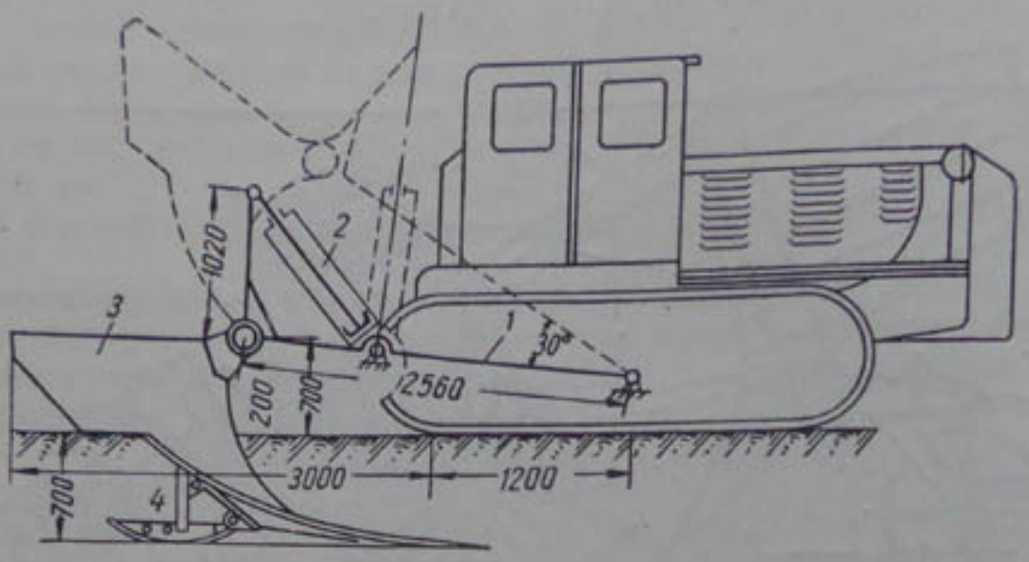


Рис. 64. Кинематическая схема навесного канавокопателя КПР-700:
1—рама; *2*—гидравлический цилиндр; *3*—копающий орган; *4*—полоз.

прибалчиваются дышла с подшипниками, охватывающими пальцы, укрепленные на рамах гусеничных тележек трактора. Шарнирная подвеска позволяет навесной опоре поворачиваться на опорных рамах в вертикальной плоскости. Подъем и опускание навесной рамы, обеспечивающие выглубление и заглубление канавокопателя, осуществляются гидравлическим цилиндром *2*. Время полного подъема канавокопателя 11 *сек*, а опускания 10 *сек*.

Корпус канавокопателя *3* сварной конструкции прикреплен к средним кронштейнам навесной рамы; к нижней части корпуса прикреплен сменный рабочий орган—лемех из стали толщиной 25 *мм*. К бокам корпуса приварены левый и правый отвалы из 8-миллиметровой стали, соединенные раскосами. На концах отвалов шарнирно закреплены бермоочистители с закрылками.

Канавокопатель работает при плавающем положении навесной рамы и опирается полозом *4* на дно отрываемой канавы. Канавокопатель снабжен центральным ножом для разрезания грунта и боковыми ножами, разрезающими грунт для образования откосов канала. При отрывке каналов в тяжелых влажных грунтах вместо обычных ножей применены ножи из проволоки диаметром 6 *мм*, закрепленные нижними концами на лемехах, а верхними на навесной раме несколько впереди лемеха. Такие ножи, действуя сверху вниз, разрезают корневую систему дернины без разрыхления грунта; сопротивление резанию проволочного ножа в несколько раз меньше, чем у обыкновенных ножей; при работе в невязких сухих грунтах надобность в проволочных ножах отпадает. Благодаря тому что рабочий орган подвешен очень близко к трактору и сзади его, проходимость трактора повышается.

Ширина отрываемого канала по дну 0,25 *м*, глубина 0,7, ширина берм 0,5 *м*, заложение откосов 1 : 1.

В качестве сменного оборудования могут быть установлены различные сменные рабочие органы: канавокопатель, траншеекопатель, кротователь, крот-дренер, корчеватель, рыхлитель и пр.

Канавокопатель работает на прицепе у одного трактора С-80.

Прицепной плужный канавокопатель Д-267А (рис. 65), выпускаемый Кременчугским заводом, предназначен для отрывки постоянных каналов оросительной сети. Ширина по дну отрываемых каналов изменяется от 0,4—0,6

до 0,8 *м* путем постановки сменных носков. Глубина выемки отрываемых оросительных каналов не более 0,65 *м*; заложение откосов 1 : 1—1 : 1,5. Конструкция канавокопателя позволяет производить смену его плуга на плуг КМ-800 и КМ-1000А, что дает возможность применять канавокопатель для разработки осушительных каналов.

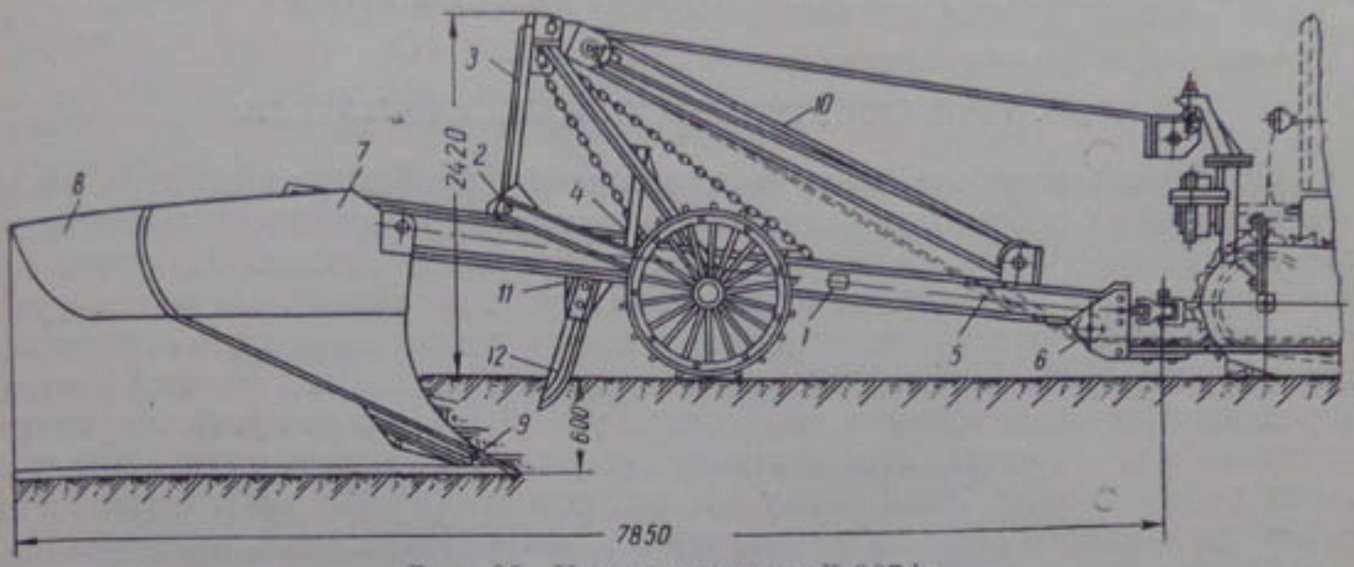


Рис. 65. Канавокопатель Д-267А:

1—рама; *2*—ось; *3*—ферма колесного хода; *4*—упор; *5* коробчатый паз; *6*—направляющий ролик; *7*—рабочий орган; *8*—скребки; *9*—сменный носок; *10*—полиспаст; *11*—стойка; *12*—средний нож.

Минский завод дорожных машин, помимо канавокопателей типа КМ, выпускает канавокопатели ЛКА-2 и КОР-500. Канавокопатель ЛКА-2 прицепной, работает в сцепе с двумя тракторами С-80, выполняет каналы шириной по дну 0,3 *м*, глубиной в плотном теле 0,4—0, 8 *м*, с заложением откосов 1 : 1. В отличие от ЛКА-2, канавокопатель КОР-500 навесной к трактору С-80 нарезает каналы шириной по дну 0,6 *м*, глубиной 0,5 *м*, с заложением откосов 1 : 1.

§ 2. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ

Дно каналов, отрываемых канавокопателями, повторяет очертания поверхности земли. Поэтому до начала работы канавокопателя необходимо спланировать поверхность земли по трассе на ширину, достаточную для прохода канавокопателя, продольный уклон спланированной поверхности земли должен соответствовать уклону дна отрываемого канала. Это позволит обойтись без ручной планировки дна.

Одновременно с планировкой можно отрыть, например, бульдозером вдоль трассы неглубокую выемку (порядка 0,2—0,5—1,0 *м*) и этим значительно увеличить глубину отрываемого канала. Такая комплексная работа особенно целесообразна при отрывке открытых дрен, для которых недостаточна глубина, получаемая после работы канавокопателей. Этот прием может быть применен и для подготовки траншей для закрытого дренажа.

Благодаря невысокой стоимости планировочных работ бульдозера такая комбинированная работа экономически целесообразна.

При отрывке каналов работу канавокопателей следует оуганизовать так, чтобы число холостых проходов было минимальным. При устройстве оросительных каналов в дамбах с подсыпным дном, насыпаемых из резервов, рекомендуется сначала отсыпать «подушку», которая может быть выполнена грейдерами, грейдер-элеваторами, бульдозерами, скреперами, а затем уже из нее вырезать требуемое сечение канала (рис. 56). Не следует начинать работу по отрывке осушительных каналов, когда уровень грунтовых вод стоит высоко и грунты переувлажнены.

Получаемые при отрывке канавокопателями КМ-800 поперечные сечения открытых дрен исключают возможность вторичной проходки канавокопателей для очистки дрен. Механизаторы Чарджоуской МЭС предложили изменить конструкцию бермоочистителя для обеспечения возможности неодно-

кратной проходки канавокопателя. С этой целью они опустили бермоочиститель на 18—20 *см* с тем, чтобы ширина бермы на высоте берм соответствовала ширине колеи трактора. Таким образом изменились функции бермоочистителя; раньше он только отодвигал вынутый грунт за пределы бермы, а в реконструированном виде он одновременно срезает верхний слой грунта на берме. Это дало возможность увеличения глубины дрен до 1 *м*[1].

§ 3. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КАНАВОКОПАТЕЛЯ

Приступая к работе, надо по продольному профилю определить объем планировочных работ, необходимых для придания поверхности земли вдоль трассы канала уклона, равного продольному уклону канала. Это определит разбивку канала на участки с одинаковой глубиной выемки, что вместе с учетом расположения искусственных сооружений дает возможность определить длину фронта работ на отдельных участках. Для различных сечений канала, определенных таким образом, необходимо установить число проходок канавокопателя для отрытия необходимого профиля и выяснить возможные скорости рабочего хода. Зная длину фронта, потерю времени на повороты и на переходы с одного объекта на следующий, можно определить значение $K_{вр}$.

При определении потерь времени на повороты следует учесть, что радиус поворота канавокопателя равен 5,2 *м* и что трактор с канавокопателем до начала работ должен выйти на прямую.

Если канал старшего порядка, к которому примыкает отрываемый канавокопателем канал, уже отрыт, то приходится часть канала оставлять для разработки другими способами, так как канавокопатель с трактором должны повернуться, не доходя до конца отрываемого канала. Если канал старшего порядка еще не отрыт, то канавокопателем можно сделать выемку младшего канала по всей его длине.

Так как в конце каждого прохода канавокопатель должен тратить время на поворот, то обычно считают, что длина разрабатываемого участка канала должна быть не меньше 200 *м*.

Для подсчета производительности канавокопателя нужно определить число проходок в смену и производительность при каждой проходке.

Число проходок канавокопателя за восьмичасовую смену (при работе в одном направлении) определяют по формуле:

$$n = \frac{480 K_{вр}}{\frac{L_{фр}}{v_{гр}} + \frac{L_{фр}}{v_{пор}} + 2t_{пов}},$$

где $L_{фр}$ — длина разрабатываемого участка канала в *м*;

$v_{гр}$ и $v_{пор}$ — скорости трактора в *м/мин* при рабочем и холостом ходе;

$t_{пов}$ — время поворота, изменяющееся от 1 до 1,5 *мин*.

Время перехода на следующий, подлежащий отрывке канал, должно учитываться по проекту организации работ в коэффициенте $K_{вр}$.

Производительность канавокопателя рассчитывают по формуле:

$$П = \frac{480 K_{вр}}{\frac{L_{фр}}{v_{гр}} + \frac{L_{фр}}{v_{пор}} + 2t_{пов}} \cdot \frac{L_{фр} F}{k} \text{ м}^3/\text{смену},$$

где F — площадь поперечного сечения отрываемого канала в $м^2$;

k — число проходок по одному и тому же месту для получения канала требуемого профиля.

---

[1] Н. П. Власов. Опыт механизированной очистки и углубления открытой дренажной сети. «Гидротехника и мелиорация» № 11, 1954.

При работе в двух направлениях вместо знаменателей в указанных выше формулах должно быть написано выражение:

$$\frac{l_{\text{фр}}}{v_{\text{гр}}} + t_{\text{пов}}.$$

Наличие пней и камней резко уменьшает производительность канавокопателей; при большом количестве пней и камней работа невозможна.

Производительность канавокопателей в зависимости от их конструкции составляет 0,8—2,2 *км/час*; таким образом, они являются высокопроизводительными машинами и обеспечивают весьма дешевую стоимость работ.

Глава VIII

БУЛЬДОЗЕРЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИХ РАБОТЫ

§ 1. НАЗНАЧЕНИЕ БУЛЬДОЗЕРОВ

Бульдозер представляет собой машину, смонтированную на гусеничных тракторах и состоящую из рабочего органа—отвала с ножом, рамы и механизма управления (канатного или гидравлического).

Бульдозеры, в которых предусмотрена возможность изменения положения отвала в горизонтальной плоскости (угол захвата) и в вертикальной (угол зарезания), называют универсальными (Д-347, Д-315, Д-149, Д-259). В остальных выпускаемых нашей промышленностью бульдозерах (Д-312, Д-159Б, Д-271, Д-275) отвал устроен неповоротным, располагается перпендикулярно к оси трактора (угол захвата 90°) и работает только при горизонтальном его положении. Бульдозеры Д-312, Д-159Б, Д-315, Д-149 имеют гидравлическое управление, остальные канатное.

Еще недавно бульдозеры применялись главным образом для вспомогательных работ: снятия растительного слоя, засыпки траншей, разравнивания грунта, доставленного на земляные плотины, дамбы и кавальеры, отсыпки и профилирования земляного полотна автодорог, для валки деревьев с корнями, корчевки пней, расчистки площадей от кустарника, для снегоочистительных работ и пр. В последнее время область применения бульдозеров значительно расширилась благодаря их высокой производительности (при небольших дальностях возки примерно 30—50 *м*), маневренности и низкой стоимости работ. На Волгодонстрое бульдозерами выполнено около 55 млн. $м^3$ земляных работ, т. е. около 33% общей их кубатуры, в том числе 19 млн. $м^3$ профильной кубатуры.

В некоторых дорожностроительных организациях бульдозерами выполняют объем земляных работ, в несколько раз больший, чем экскаваторами. Это объясняется технико-экономическими соображениями; например, по нормам, утвержденным Госстроем СССР, производительность бульдозера на тракторе С-80 в грунтах III категории при дальности перемещения 25 *м* составляет 360 $м^3$/*смену*, а стоимость разработки и перемещения 1 $м^3$ грунта 0,53 руб.; производительность же экскаватора-драглайна с ковшом емкостью 0,5 $м^3$ составляет 180 $м^3$/*смену*, а стоимость разработки и перемещения 1 $м^3$ грунта на то же расстояние составляет 1,84 руб.

Бульдозеры применялись в широком масштабе для грубой планировки откосов Донского магистрального и Нижнедонского каналов. Эти машины используются для поперечной разработки достаточно широких каналов с отсыпкой грунта в дамбы высотой до 1,5—2 *м* и для отсыпки дамб из резервов.

В комплексе с экскаваторами бульдозеры могут быть использованы для перемещения грунта, уложенного в промежуточный кавальер на окончательное место (бестранспортная работа экскаваторов), для подчистки после работы механических лопат гребешков, остающихся в забоях и мешающих

укладке транспортных путей, для поддержания в исправном состоянии землевозных и других автодорог и пр. Бульдозеры используются для разравнивания грунта, выгруженного скреперами, для поддержания в исправном состоянии путей движения скреперов и пр.

Большая маневренность бульдозеров позволяет легко перебрасывать их с одного места на другое и применять на объектах с небольшим объемом работ.

В последнее время к бульдозерам добавляют боковые открылки, уменьшающие потери грунта при транспортировании, уширители отвалов, значительно повышающие объем перемещаемого грунта и производительность, планировщики для срезки откосов. Это еще более расширяет область применения бульдозеров на гидротехнических, гидромелиоративных, дорожных, железнодорожных и других работах.

§ 2. ТИПЫ БУЛЬДОЗЕРОВ

Бульдозер Д-271 (рис. 66) с канатным приводом прочно вошел в практику нашего строительства; он является навесным оборудованием к трактору С-80. Основными его частями являются: отвал *2* с ножом, толкающая рама *1* со стойками и раскосами, канатный подъемник.

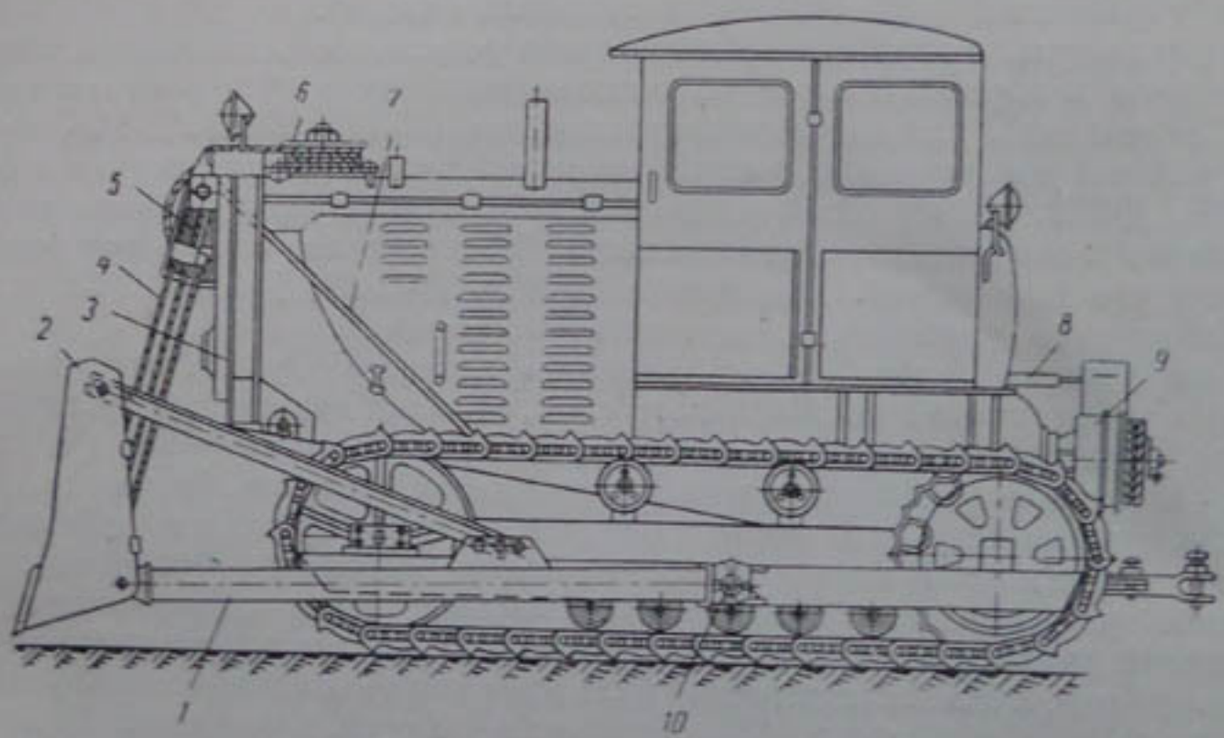


Рис. 66. Неповоротный бульдозер Д-271 с канатно-блочным управлением к трактору С-80:

1—толкающая рама; *2*—отвал; *3*—передняя стойка; *4*—подъемный полиспаст; *5*—неподвижная обойма блоков полиспаста; *6*—бухта с запасным канатом; *7*—раскос; *8*—труба ограждения тягового каната; *9*—лебедка; *10*—упряжная цапфа.

Отвал *2* с ножом установлен перпендикулярно к оси трактора и прикреплен к балкам толкающей рамы *1*, охватывающей трактор с двух сторон. Жесткое положение отвала обеспечивается стойками *3* и подкосами на балках толкающей рамы. Рама соединена с отвалом шарнирами; такое соединение позволяет изменять угол резания. Балки толкающей рамы соединены с гусеничными тележками трактора упряжной цапфой *10*.

Подъем отвала производится канатом, наматываемым на лебедку *9*, помещенную в задней части трактора рядом с сиденьем тракториста. Канат проходит внутри трубчатого бруса, соединяющего переднюю и заднюю стойки, чрез двойной полиспаст *4*, соединенный планками с отвалом. Привод лебедки осуществляется от вала отбора мощности трактора.

Отвал имеет ограниченные передвижения—подъем и опускание в вертикальной плоскости.

Бульдозер Д-271 выпускается серийно, является модернизированным бульдозером марки Д-157 и отличается от последнего устранением верхней балки с вертикальными стойками, усилением отвала и применением задней однобарабанной лебедки Д-269. Это привело к уменьшению веса отвала с лебедкой, снижению габаритной высоты агрегата, к улучшению видимости и уменьшению продольных и поперечных качаний.

Бульдозер Д-271 является навесным оборудованием к трактору С-80, характерным свойством которого являются высокие скорости заднего хода (до 8,75 *км/час*). Благодаря этому выгоднее холостое движение тракторного отвала производить задним ходом, без поворотов (челночная схема организации работ). Габаритная ширина агрегатов Д-157 равна 3 *м*, а Д-271—3,03; ширина захвата 2,95 *м*, высота 1,1; вес отвала Д-157 равен 2,14 *т*, а Д-271—1,58. Объем грунта, перемещаемого бульдозерами Д-157 и Д-271,—2,2 *м*³.

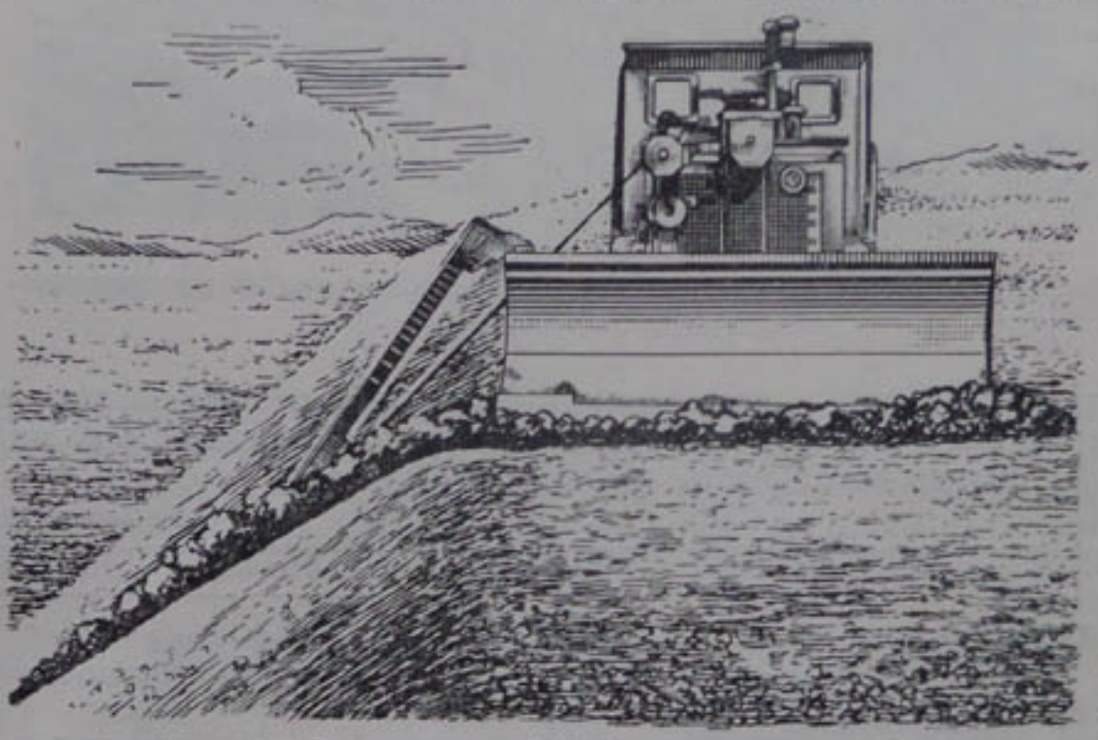


Рис. 67. Планировщик Д-327 к бульдозеру Д-271.

Бульдозер Д-271 снабжается дополнительным оборудованием: планировщиком откосов Д-327 (рис. 67), боковыми уширителями и съемными зубьями для рыхления плотных грунтов.

Планировка откосов может производиться при движении трактора над и под откосом.

Универсальный бульдозер Д-259 (рис. 68) к трактору С-80 имеет длину отвала 4,15 *м* и высоту 1,1.

Отвал может устанавливаться с углами захвата 90° и 62°, с углами заезания до 6° и углами резания от 43 до 56°; управление канатное от лебедки Д-269. Габаритная ширина агрегата 3,68—4,10 *м* (в зависимости от угла захвата). Вес отвала 1,23 *т*. Благодаря поворачивающемуся отвалу значительно расширяется применение агрегата Д-259 на планировочных работах, при срезках грунта и снега с перемещением его в сторону; становится возможной засыпка траншей и старых каналов при продольных ходах и т. д.

Неполноповоротный бульдозер Д-159Б к трактору ДТ-54 с гидравлическим управлением имеет отвал длиной 2,28 *м* и высотой 0,8; объем перемещаемого грунта 0,75—1 *м*³, вес отвала 0,9 *т*. Он может быть использован на работах небольшого объема. Бульдозер Д-159Б имеет две опорные тарельчатые лыжи, переставляемые по высоте. При перемещении грунта без резания лыжи устанавливаются на уровне кромки ножа, а при резании—выше его кромки.

Наша промышленность освоила два типа бульдозеров для трактора 140 *л. с.*: **универсальный Д-290** с шириной захвата 4,54 *м*, высотой 1,2 и **неполноповоротный Д-275** с длиной отвала 3,18 *м* и высотой 1,55.

Сравнительные данные о производительности бульдозера Д-275 во время его испытаний на Сталинградгидрострое при разных дальностях возки и обычных бульдозеров приведены в таблице 8.

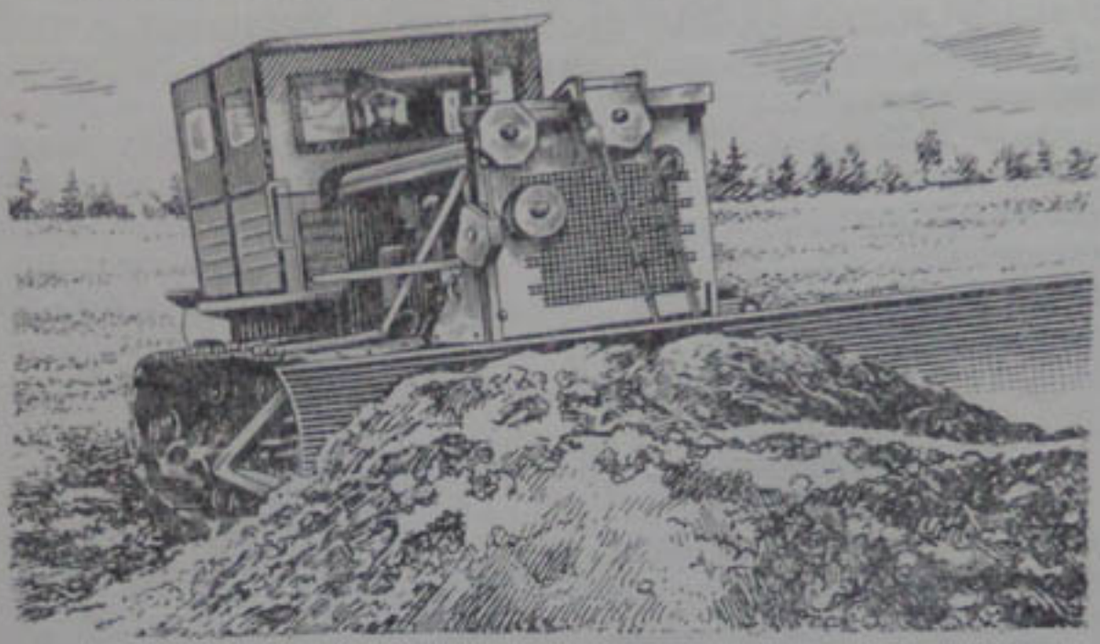


Рис. 68. Универсальный бульдозер Д-259 к трактору С-80 с гидравлическим управлением.

Из таблицы 8 видно, что отвалы Д-275 могут быть эффективно использованы при больших дальностях возки и их производительность во много раз превышает производительность обычных бульдозеров.

Таблица 8

Дальность возки в *м*	Производительность в *м*³/час		
	Бульдозер Д-275		Обычные бульдозеры
	на горизонтальном участке	при траншейной разработке	
25	230,0	290,0	35
50	109,0	190,0	14
75	64,5	123,8	9

Для выполнения земляных работ малого объема применяются: **универсальный бульдозер Д-347** с колесным трактором и **неповоротный бульдозер Д-312** с колесным трактором МТЗ-2. Длина отвалов у этих бульдозеров соответственно равна 1,3 и 2 *м*, высота 0,5 и 0,55. Наша промышленность осваивает производство бульдозеров к дизель-электрическому трактору 250 *л. с.* и к колесному двухосному тягачу 165 *л. с.*

§ 3. ПОТЕРИ ГРУНТА В ПУТИ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ УМЕНЬШЕНИЮ

Крупный недостаток бульдозеров состоит в больших потерях перемещаемого грунта, сваливающегося с отвала и образующего боковые валики.

Завод имени Колющенко провел опыты по перемещению грунта бульдозером Д-271 по твердой площадке на расстояние до 80 *м*. Результаты испытаний показаны на графике[1] (рис. 69). График показывает, что уже при дальности возки 30 *м* потери грунта из отвала без уширителей составляют 67,2%, а при транспортировании на 50 *м* они доходят до 89%; при наличии уширителей

[1] Н. П. Кваряков, С. В. Соколовский, С. М. Тарасов. Уширители отвала как средство повышения производительности бульдозера Д-271. «Механизация строительства» № 3, 1955.

потери сокращаются соответственно до 28 и 50%. Отсюда следует, что обычные бульдозеры без уширителей целесообразно применять лишь при очень коротких дальностях возки (до 20—30 *м*), если не принять специальных мероприятий по борьбе с потерями грунта тракторных отвалов при транспортировании.

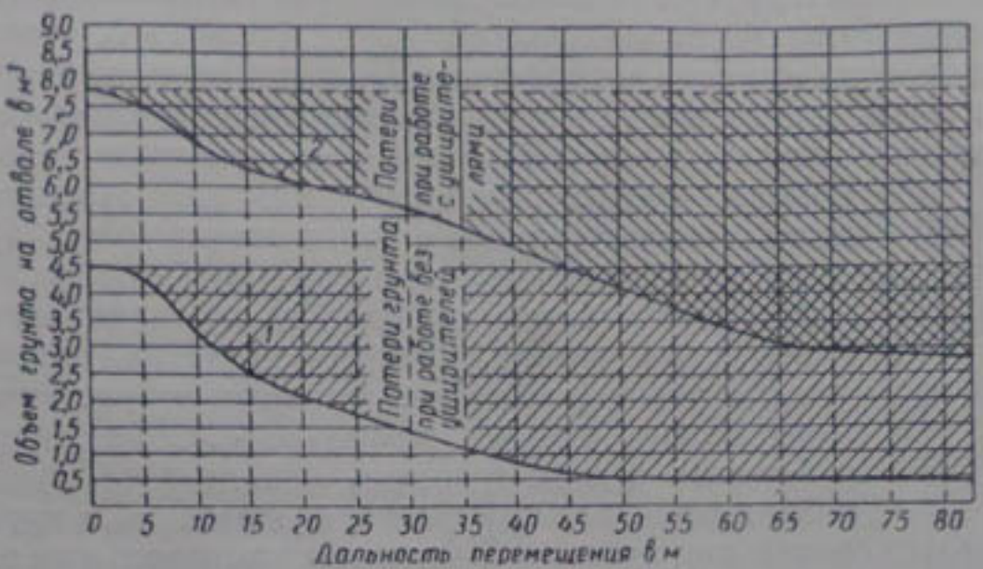


Рис. 69. График сравнительных испытаний бульдозера Д-271:
1—без уширителей; *2*—с уширителями.

Уширители (рис. 70) коробчатого сечения, укрепленные к стенкам отвала под углом 60°, увеличивают ширину захвата отвала до 4,5 *м*; они снабжены ножами, расположенными на 100 *мм* выше режущей кромки ножей отвала. Вес уширителей 267 *кг*, установка их производится двумя рабочими за 12—15 минут. При наличии уширителей резко снижаются потери грунта при

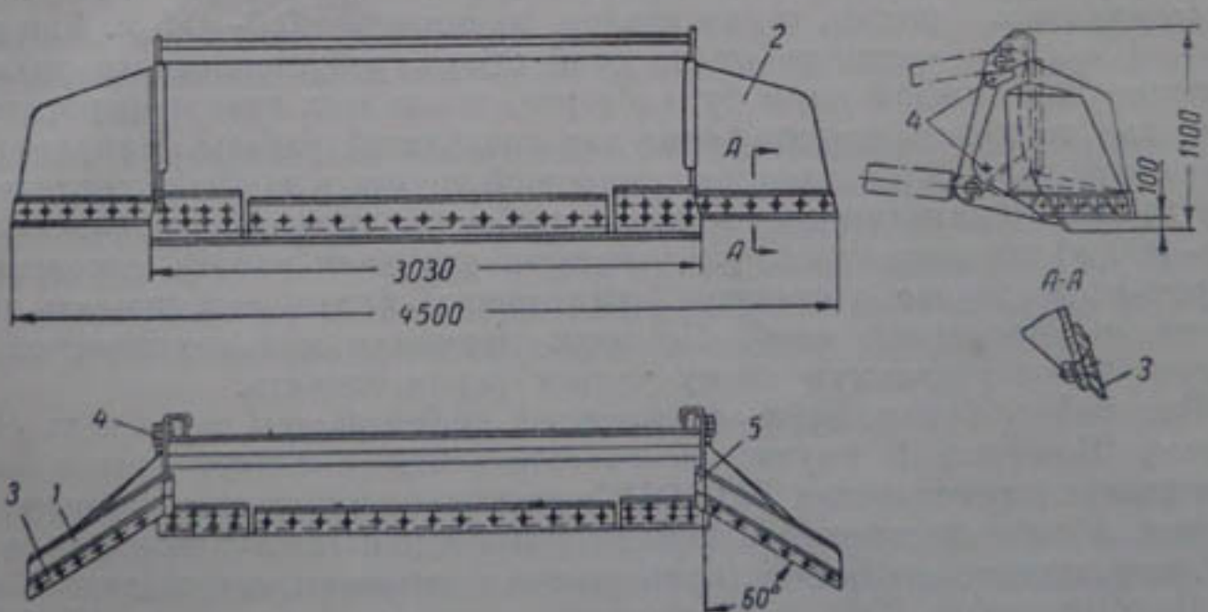


Рис. 70. Бульдозер Д-271 с уширителями:
1—правый уширитель; *2*—левый уширитель; *3*—сменные ножи уширителя; *4*—болты крепления уширителя; *5*—захваты.

перемещении, а объем перемещаемого грунта увеличивается в четыре раза при дальности возки 30 *м* и в шесть раз при дальности возки 70 *м* по сравнению с бульдозером Д-271 без уширителей. Применение их позволяет значительно увеличить дальность возки и объем перемещаемого грунта до 7—8 $м^3$ (в начале перемещения).

Углы установки уширителей в горизонтальной и вертикальной плоскостях подбираются опытным путем с таким расчетом, чтобы силы воздействия грунта на отвал по его заполнении удерживали отвал в «плавающем» положении.

Отвал с уширителями плавно врезается в грунт, а после заполнения он теряет способность к заглублению; благодаря этому даже у малоопытных механиков срезаемая поверхность остается ровной.

Бульдозеры Д-271 с уширителями испытывались при разработке котлована с отвозкой грунта в кавальер, при отсыпке насыпи из боковых резервов, при планировочных и других работах. Достигнутая производительность превышала производительность обычных бульдозеров в 2—3 раза.

Один из простых и весьма распространенных способов уменьшения потерь грунта при транспортировании состоит в траншейной разработке, когда агрегат разрабатывает грунт несколькими проходками по одному следу; боковые стенки получаемой при этом траншеи препятствуют ссыпанию грунта в бок с отвала (рис. 71).

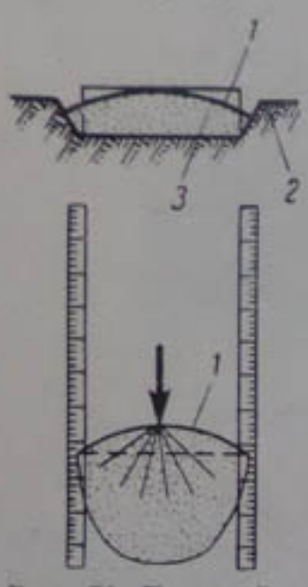


Рис. 71. Траншейная схема перемещения грунта:
1—отвал; *2*—траншея; *3*—перемещаемый отвалом грунт.

Для образования траншеи требуется несколько проходок агрегата, что снижает и ограничивает эффективность этого метода. Вследствие трения перемещаемого грунта о боковые стенки траншеи возрастают необходимые тяговые усилия; кроме того, грунт, осыпающийся с боковых стенок траншеи, попадает на гусеницы, что неблагоприятно сказывается на их износе, а грунт, попадающий под гусеницы, вызывает произвольные их подъемы, сопровождающиеся потерями грунта и образованием неровностей пути. Наконец, при обратном ходе по траншее скорость движения несколько замедляется вследствие увеличенных сопротивлений; представляется поэтому желательным возвращение агрегата при холостом ходе не по траншее, а параллельно ей.

Для борьбы с потерями грунта с отвалов применяется также спаренная работа бульдозеров, при которой потери в пути сокращаются вдвое. Бульдозеры передвигаются рядом, с интервалом по ширине в 0,3—0,5 *м*. Для успешности работ по этой схеме требуется строго ритмичное движение как каждой пары бульдозеров, так и всех одновременно работающих пар, подготовляющих фронт для следующей работы. Например, при поперечной разработке каналов с отсыпкой грунта в дамбы и последующим уплотнением ее катками необходимо, чтобы на всем фронте работы катка (200—300 *м*) все спаренные бульдозеры заканчивали работу одновременно, в противном случае отстающие трактористы будут задерживать начало работы по уплотнению дамб. По этим причинам при комплексной организации работ указанную схему нельзя рекомендовать.

При работе бульдозеров часть грунта пересыпается через верх отвала. Поэтому Всесоюзный научно-исследовательский институт организации и механизации строительства (ВНИОМС) предложил прикрепить к верху отвала козырек, а с боков открылки. При использовании «ящичного» отвала этого типа, испытанного, например, при отсыпке перемычки, ограждающей котлован Куйбышевской ГЭС, производительность повысилась на 80—90% по сравнению с обычными бульдозерами.

Благодаря наличию между низом открылки и режущей гранью ножа щели в 150 *мм* при резании грунта не возникало дополнительных сопротивлений; приваренные открылки не мешали зарезанию; потери через щель были незначительны.

§ 4. СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ БУЛЬДОЗЕРАМИ

Снятие растительного слоя. Обычно применяемая схема работ бульдозеров при снятии растительного слоя под каналы и другие сооружения продольного очертания показана на рисунке 72, *а*. Работа производится челночным способом поперечными полосами, ширина которых соответствует ширине отвала, с перекрытием каждого предыдущего прохода на 15—20 *см*.

Другая схема организации работ приведена на рисунке 72, *б* (опыт бульдозериста Н. Е. Доронина)[1]. Сначала работа производилась продольными проходками с периодической выгрузкой (в среднем через 20 *м*) срезанного грунта в поперечные валики по мере его накопления на ноже в количестве около 3,5 $м^3$. В конце участка бульдозерист разворачивал машину и, срезая растительный грунт на соседней полосе, двигался в обратном направлении, вновь выгружая грунт в поперечные валики через 20 *м*. После срезки растительного слоя на всем участке грунт, выгруженный в валики, перемещался поперечными ходами в кавальер, расположенный за резервом.

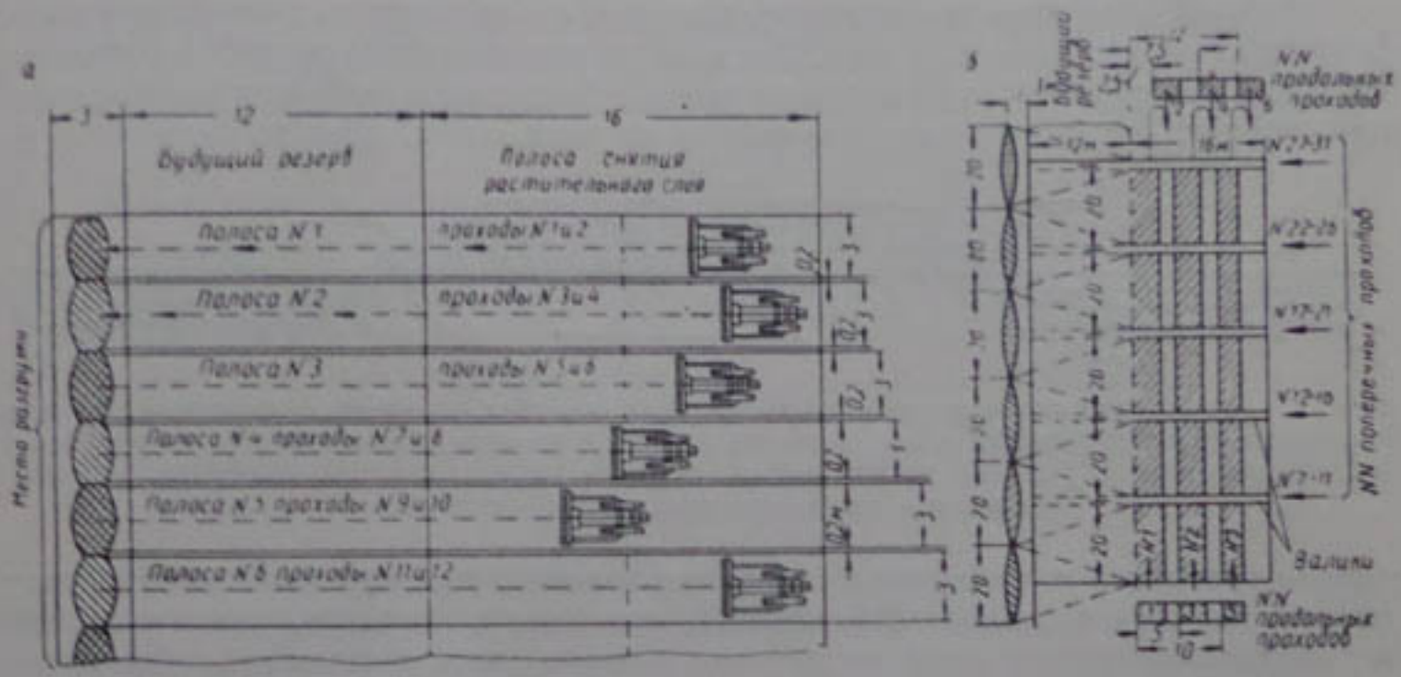


Рис. 72. Схема снятия растительного слоя бульдозером:
а — обычная; б — новая, по методу Н. Е. Доронина.

При обычной схеме разработка растительного слоя на участке длиной 100 *м* с перемещением его в кавальеры занимала 100 *мин*, а по новой схеме только 67 *мин*.

Новая схема оказалась значительно более выгодной, чем обычная, что видно из следующего анализа. При обычной схеме для снятия растительного слоя на участке длиной 100 *м* агрегат должен сделать 36 ходов по 31 *м* и 36 ходов по 2,3 *м*, т. е. всего пройти 1944 *м*; при челночной работе он должен пройти такую же длину задним ходом. При скорости рабочего хода 0,5 *м/сек* и заднего в 1,4 *м/сек* приведенная длина составит:

$$L_{прив} = 1944 \times 1 + 1944 \frac{0,5}{1,4} = 1738 \text{ м}.$$

При работе по новой схеме агрегат должен сделать шесть рабочих продольных ходов по 100 *м*, 25 рабочих поперечных ходов (по пять ходов для удаления каждого поперечного валика) по 31 *м* и 25 задних поперечных ходов.

Приведенная длина для обработки участка длиной 100 *м*:

$$L_{прив} = 100 \times 6 \times 1 + 31 \times 25 \times 1 + 31 \times 25 \frac{0,5}{1,40} = 1645 \text{ м}.$$

Время на вспомогательные операции (повороты, переключения, маневры, подъемы ковша) по обеим схемам почти одинаковые; резкое различие во времени циклов объясняется почти исключительно различием в длинах и скоростях проходки.

Рассмотренный пример показывает целесообразность расчленения отдельных операций (резание, транспортировка) и необходимость составления ряда

---

[1] М. Н. Ритов, А. Н. Михайлов, Н. Е. Доронин. Передовые методы бульдозерных работ. Дориздат, 1954.

вариантов организации работ и их сравнения по принципу «приведенных длин».

Отсыпка дамб из боковых резервов, разработка выемок с поперечной отвозкой грунта в дамбы или боковые кавальеры (рис. 73).

Резание грунта производится траншейным способом, для чего агрегат проходит 4—5 раз по данной полосе и образует траншеи глубиной 0,7—0,8 *м*. После этого работают таким же образом на следующей полосе и оставляют между ними расстояния, равные 0,4—0,5 *м*, благодаря чему потери грунта с отвала уменьшаются.

Первый слой грунта отсыпают, начиная с оси насыпи, постепенно передвигаясь с отсыпкой к ее бровке. После этого аналогичным способом отсыпают грунт из резерва с другой стороны дамбы. После разравнивания и уплотнения первого слоя начинается отсыпка второго слоя. Она выполняется из

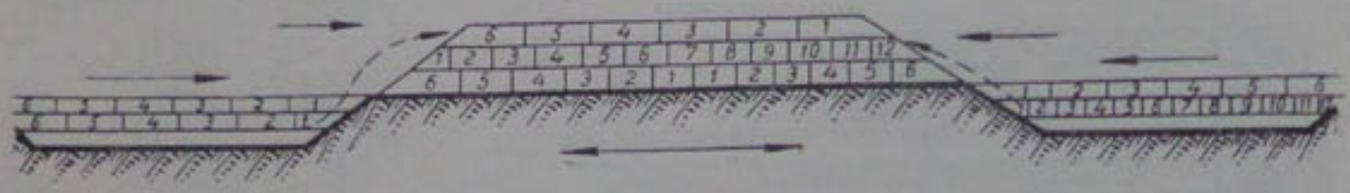


Рис. 73. Челночная схема возведения насыпей из боковых резервов. В резервах цифрами обозначен порядок резания и перемещения грунта в насыпь; в насыпи цифры указывают последовательность укладки доставленного отвалом грунта; стрелки показывают направление движения тракторного отвала.

одного резерва и начинается с противоположного резерву края дамбы сразу на всю ширину отсыпаемой дамбы. По окончании отсыпки, разравнивания и уплотнения второго слоя из другого резерва аналогичным способом отсыпается третий слой и т. д.

Указанная схема организации работ возможна при высоте дамб не более 1,5—2 *м* и откосах дамб и резервов не круче 1 : 2.

Аналогичная схема может быть применена при разработке выемок глубиной до 2 *м* с перемещением грунта в кавальер, если ширина выемки по дну обеспечивает достаточный фронт для поперечного зарезания (12—16 *м*). Однако в этих случаях более выгодно применять другую схему организации работ, принцип которой заключается в расчленении работ на отдельные операции, как при новой схеме организации работ по снятию растительного слоя.

Практика показала, что при одновременной выемке грунта и его перемещении по высоте на въездах на дамбы производительность агрегата быстро снижается. Более выгодной оказалась схема[1], при которой вся работа была разделена на две операции: выемку грунта с перемещением его в промежуточный кавальер за пределами дамб и перемещение грунта из кавальера в дамбы (рис. 74). Выемка разрабатывалась поперечными ходами траншейным способом; стенки траншей уже после 2—3 проходок агрегата по одному и тому же месту (вслед) препятствуют потерям грунта с отвала. Для облегчения выездов агрегата из выемки откосы ее временно разрабатываются более пологими.

Практика укладки грунта в дамбы показала недостаточное уплотнение их внутренних частей. Поэтому дамбы насыпались с внутренней стороны на 0,3—0,4 *м* шире, чем по проекту; после уплотнения этот излишний грунт срезался одновременно с доведением заложения откосов до проектных отметок. Расчеты показали, что при второй схеме организации работ стоимость их снизилась на 10%, а производительность агрегатов повысилась на 10%.

Однако при работе по второй схеме расчленение отдельных операций не доведено до конца. При колонной работе бульдозеров и комплексной организации работ рациональнее было бы более глубоко расчленить операции и производить отдельно продольную разработку выемки со склади-

---

[1] М. Н. Ермошенко. Из опыта возведения магистрального канала бульдозерами. «Гидротехника и мелиорация» № 8, 1953.

рованием грунта в поперечные валики и отдельно разработку валиков с перемещением грунта в дамбу. Схема организации работ в этом случае была бы похожа на новую схему по снятию растительного слоя (рис. 72, *б*).

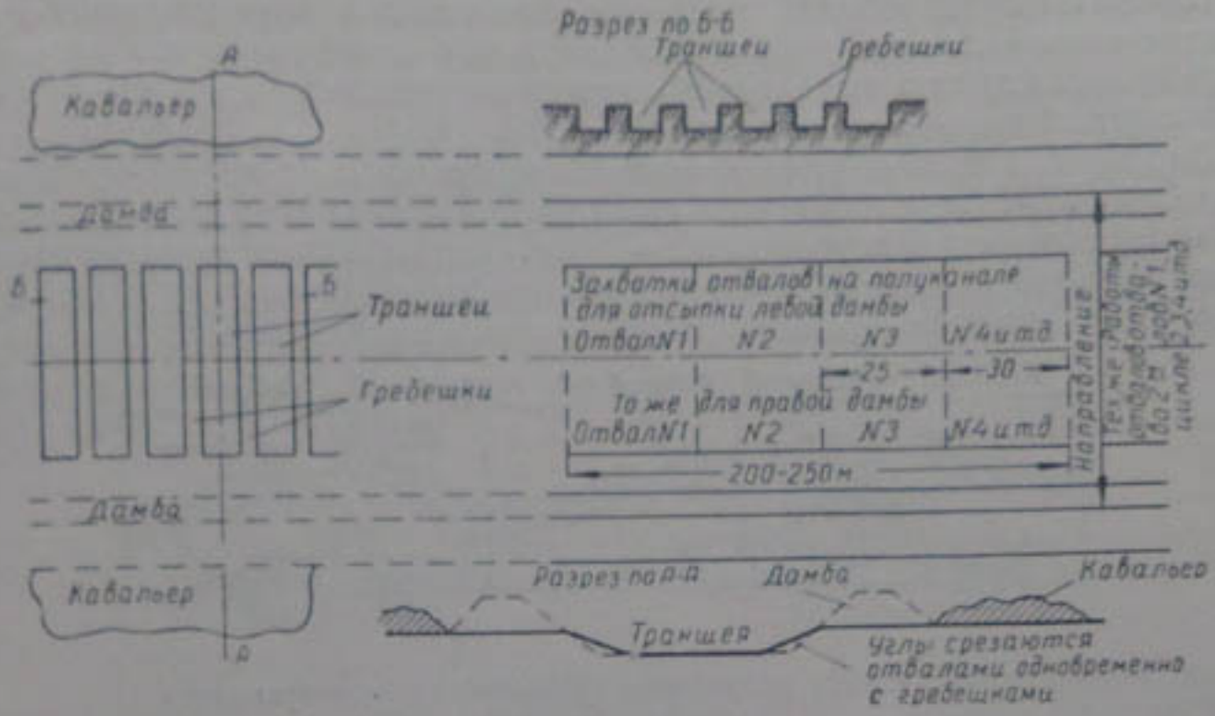


Рис. 74. Схема производства работ по магистральному каналу бульдозерами.

Продольная схема разработки выемок становится неизбежной, если ширина их меньше длины зарезания и наполнения отвала, но достаточна по поперечным габаритам бульдозеров.

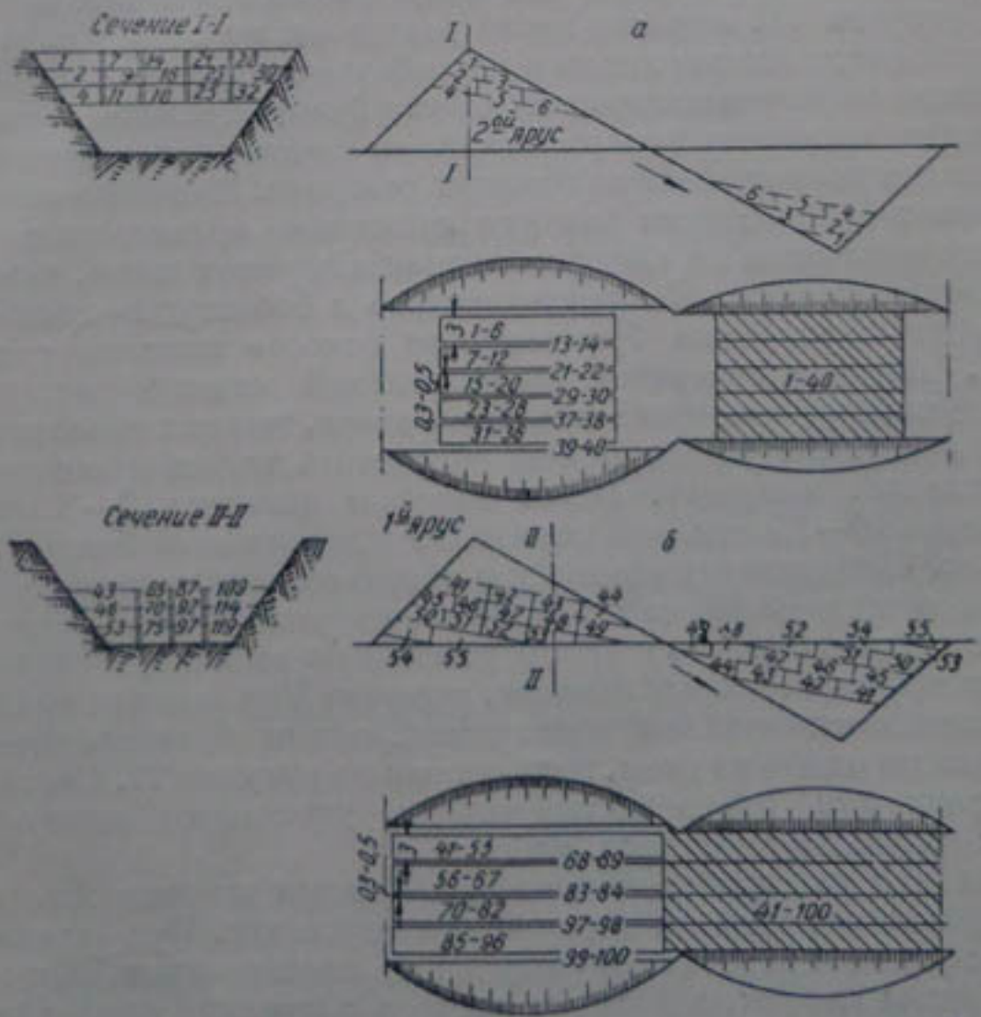


Рис. 75. Ярусно-траншейная продольная схема:
а—разработка первого яруса; *б*—разработка второго яруса.

Если выемки имеют меньшую ширину, их можно разрабатывать экскаваторами (например, драглайнами). Если высота дамбы больше 1,5—2 *м*,

то целесообразно более высокие части дамб отсыпать скреперами; это же относится и к глубоким каналам, верхнюю часть которых целесообразно разрабатывать бульдозерами, а нижнюю, более глубокую, скреперами.

Продольная разработка выемок с продольным перемещением грунта в рядом расположенные дамбы выгодна в том отношении, что разработка и перемещение грунта выполняются при движении под уклон, что повышает производительность агрегата до 40—80%.

Передовики производства разрабатывают выемки по ярусно-траншейной схеме (рис. 75)[1]. Сначала агрегат проходит полосы по 3—4 слоя в ярусе для образования траншей глубиной 0,5—0,6 *м*. Затем с некоторым отступлением по ширине аналогичным образом разрабатывают вторую полосу и т. д. Оставшиеся промежуточные валики разрабатывают последующими проходками.

Рис. 76. Схема разработки бульдозером чередующихся выемок и насыпей.

По окончании разработки верхнего яруса подобным же способом разрабатывают второй ярус. Последовательность разработки грунта и укладки его в дамбы показана цифрами.

Чередующиеся выемки и насыпи могут разрабатываться по схеме, показанной на рисунке 76. Агрегат после разгрузки не делает обратного поворота, а переходит холостым ходом к разработке следующего участка выемки.

Возведение небольших земляных плотин бульдозерами. Продольная схема организации работ может быть применена при отсыпке недлинных земляных плотин из рядом расположенных боковых резервов. Машинно-мелиоративные станции строят бульдозерами большое количество колхозных плотин; плотность грунта в плотине по следу движения агрегатов выше, чем в резерве.

Планировка откосов. На Волгодонстрое в больших масштабах производилась грубая планировка бульдозерами откосов каналов с заложением 1 : 2—1 : 4, предшествовавшая окончательной отделке их грейдерами. При планировке агрегаты двигались снизу вверх, так как практика показала, что только при такой работе можно обеспечить хорошее качество работ и вести зрительный контроль. Перед началом делались 2—3 контрольные проходки через 10—15 *мин*, что позволяло в дальнейшем быстро и уверенно вести работы. При планировке откосы также срезали на ширину 0,5—0,6 *м*, так как из-за невозможности надлежащего уплотнения крайних частей дамб их приходилось делать шире на указанную величину.

Засыпка траншей, старых каналов, оврагов. При засыпке траншей и старых ирригационных каналов неполноповоротным бульдозером он может передвигаться по одной из схем, показанных на рисунке 77. Способы, применяемые передовыми производственниками, уменьшают длину груженых проходов и улучшают условия набора.

При наличии на стройке поворотных отвалов засыпка может производиться продольными ходами, параллельными каналу. При засыпке оврагов с пологими склонами работа производится по схеме рисунка 78, *а* с отсыпкой горизонтальными слоями, а засыпка оврагов с крутыми склонами по схеме рисунка 78, *б*. Если грунт приходится перемещать на расстояние более 25 *м*, то применяют схему работ с промежуточным валом (рис. 79); после отсыпки

[1] М. Н. Ритов. Рациональное использование бульдозеров на земляных работах. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 6, 1953.

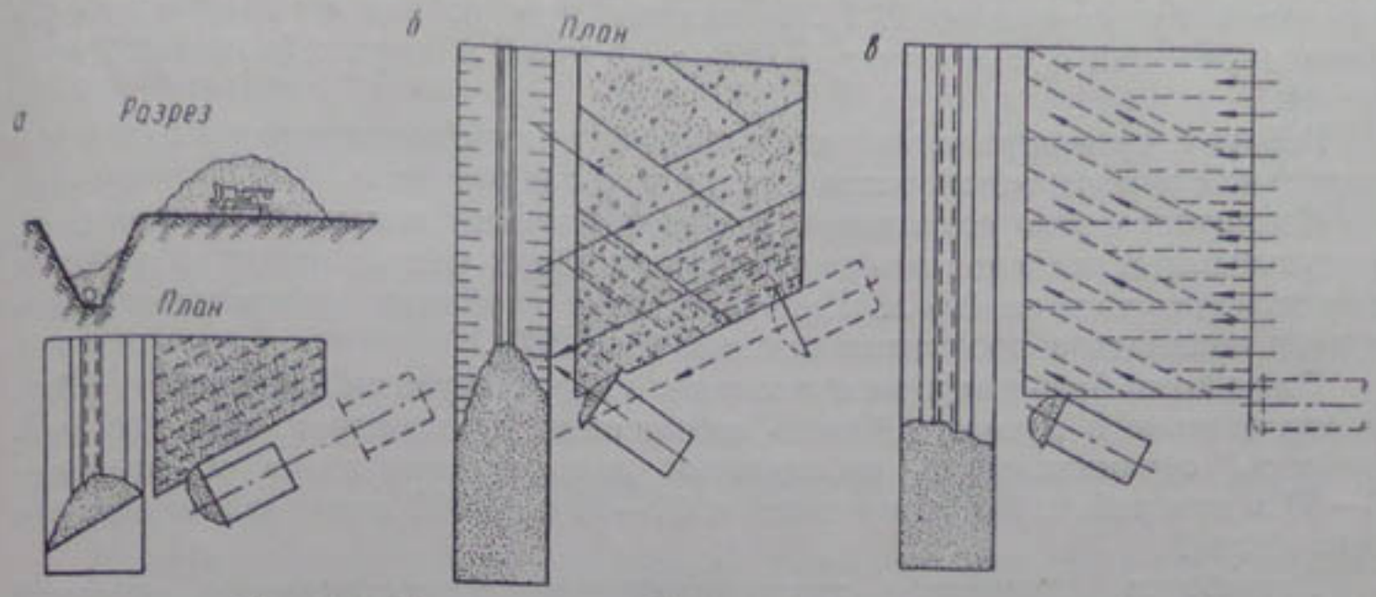


Рис. 77. Засыпка траншей и котлованов бульдозерами:
а—обычный способ; б—способ новаторов Стройгаза; в—способ бульдозериста Тарананова.

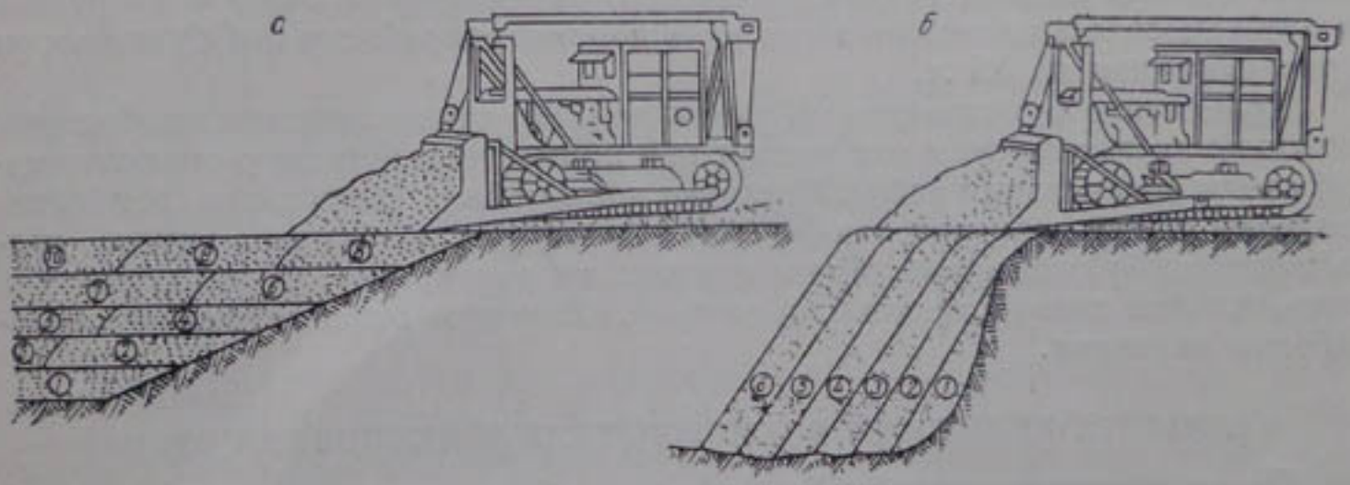


Рис. 78. Засыпка оврагов бульдозерами:
а при пологих склонах горизонтальными слоями; б—при крутых склонах наклонными слоями.

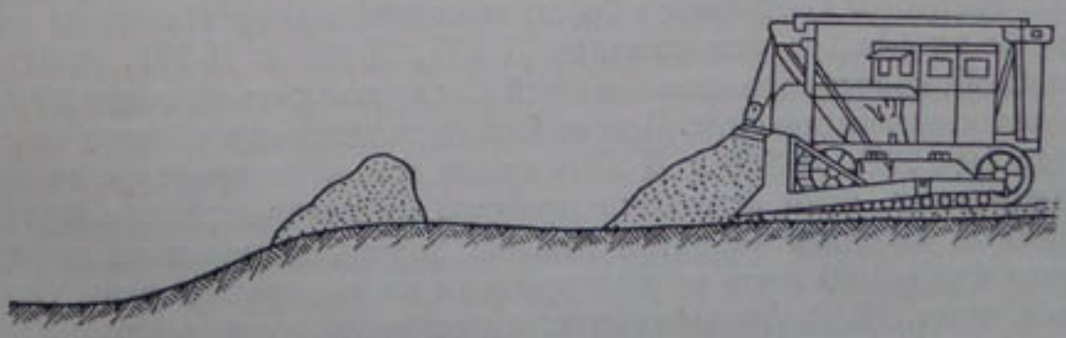


Рис. 79. Работа бульдозеров с промежуточным валом.

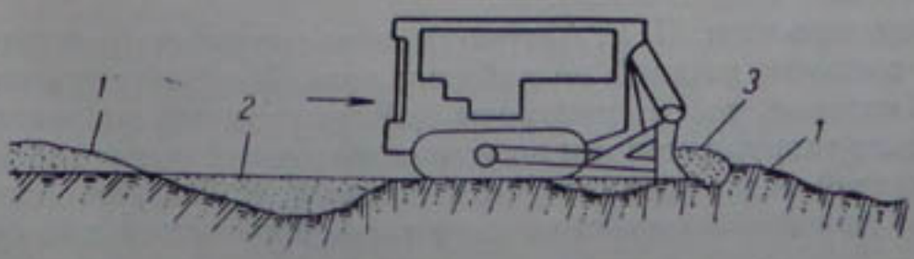


Рис. 80. Планировка площадки неповоротным бульдозером:
1—поверхность до планировки; *2*—поверхность после планировки; *3*—валик перемещения перед отвалом.

достаточного объема грунт перемещается на место увеличенными порциями. Передовой бульдозерист И. П. Кувалдин при работе с промежуточным валом перемещал бульдозером Д-157 от 3,3 до 4,8 $м^3$ грунта (вместо 2,2 $м^3$ по норме).

Работа с промежуточным валом широко применяется передовиками при продольной и поперечной разработке выемок и резервов.

Планировка дна котлованов и разравнивание насыпей производится продольными параллельными проходками в обоих направлениях с перекрытием каждого хода на 0,5 *м*. При небольших глубинах срезки планировку следует начинать с проектных отметок (рис. 80).

Разработка бульдозерами котлованов гидросооружений, карьеров, уборка строительного мусора. Область применения бульдозеров, как уже указывалось, ограничивается небольшими дальностями возки в пределах 25—30 *м* при работе без уширителей и 50—75 и до 100 *м* при использовании уширителей.

Разработка котлованов гидросооружений сопровождается отвозкой грунта на значительные расстояния (1—2 *км* и более), когда применение бульдозеров при обычных схемах организации работ нецелесообразно. Эта работа выполняется обычно экскаваторами с погрузкой грунта на автосамосвалы. Однако выемка грунта, например, экскаватором Э-505 с погрузкой на автосамосвалы примерно в три раза дороже разработки его бульдозером с перемещением на 25 *м*.

Применение бульдозеров на таких работах становится целесообразным в технико-экономическом отношении при применении бункерно-транспортерной схемы организации работ. Котлован должен быть разделен на отдельные квадраты таких размеров, чтобы транспортировка до бункера грунта, разработанного бульдозерами, производилась на расстояния, не превышающие рациональной дальности для бульдозеров. Сказанное относится также к разработке карьеров.

§ 5. РАБОТА БУЛЬДОЗЕРОВ С ПОВОРОТАМИ И ЧЕЛНОЧНАЯ СХЕМА

По окончании разгрузки бульдозеры либо поворачиваются для обратного хода, делая два поворота, либо могут проходить обратный путь задним ходом (челночная схема). В первом случае время цикла удлиняется за счет поворотов.

Так как тракторы С-80 имеют более высокие скорости заднего хода, чем при движении вперед, то для отвалов Д-157, Д-259 и Д-271, монтируемых на тракторе С-80, целесообразно обратный ход выполнять на задних скоростях и работать челночным способом. При работе бульдозеров с малыми скоростями заднего хода (Д-159Б, Д-315 и Д-275) время цикла получается меньше при схеме с поворотами, если экономия времени от возвращения с более высокими передними скоростями будет больше потерь времени на повороты.

Для того чтобы избежать потери времени на повороты и этим уменьшить время цикла, инж. П. Г. Артемов[1] путем смены шестерен постоянного зацепления в коробках передач увеличил скорость заднего хода трактора ДТ-54 до 6 *км/час*, благодаря чему производительность бульдозера повысилась на 47% (при длине хода в 60 *м*).

По утверждению инж. П. Г. Артемова, дополнительного заметного износа трактора или поломок деталей не наблюдалось. Наоборот, по наблюдениям инж. П. Н. Лавренко[2], частые повороты бульдозеров для возвращения в ряде случаев не только затруднительны по условиям производства работ, но и ускоряют износ ходовой части бульдозеров. Отсюда П. Н. Лавренко делает вывод, что тракторы с малой скоростью заднего хода непригодны для бульдозеров.

---

[1] П. Г. Артемов. Пути повышения производительности бульдозеров Д-159 и Д-159Б. «Механизация строительства» № 10, 1953.

[2] П. Н. Лавренко. Повышение производительности бульдозеров. «Механизация строительства» № 2, 1956.

В зарубежной практике тракторы, применяемые для работы с отвалом (Катерпилляр Д-8, Катерпилляр Д-9, Менк-Гамброк), имеют высокие скорости заднего хода, равные максимальной скорости переднего хода, а иногда и более высокие. Однако повышение скорости движения тракторов должно сопровождаться улучшением их ходовой части. Например, IV задняя передача тракторов С-80 используется трактористами недостаточно или вовсе не используется, так как это приводит к быстрому износу ходовой части. Поэтому инж. П. Н. Лавренко для улучшения конструкции ходовой части трактора С-80 предлагает усилить катки и уменьшить шаг гусениц, а также заменить скользящие подшипники нижних катков гусеничного хода роликовыми с защитой их от пыли и улучшением системы смазки.

§ 6. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ БУЛЬДОЗЕРА

Производительность бульдозера за восьмичасовую рабочую смену при разработке грунта с перемещением его и двумя поворотами исчисляется по формуле:

$$П = \left[\frac{480 K_{вр}}{\frac{L_{наб}}{v_{наб}} + \frac{L_{гр}}{v_{гр}} + \frac{L_{наб} + L_{гр}}{v_{пор}} + 2t_{пов} + 2t_{под} + t_{перекл} n} \right] V \ м^3/смену, \quad (57)$$

где V — объем грунта (в плотном теле), перемещаемого бульдозером, в $м^3$;
$L_{наб}$ — длина набора грунта в $м$ (изменяется от 7 до 12 $м$);
$v_{наб}$ — скорость набора в $м/мин$ (обычно на I передаче);
$L_{гр}$ — длина груженого хода вместе с длиной разгрузки (около 4 — 6 $м$) в $м$;
$v_{гр}$ — скорость груженого хода в $м/мин$ (на II или III передаче);
$v_{пор}$ — скорость холостого хода в $м/мин$ (на IV или III передаче);
$t_{пов}$ — время на поворот;
$t_{под}$ — время на подъем или опускание ножа (2 — 6 $сек$);
n — число переключений во время цикла;
$t_{перекл}$ — время на переключение трактора (4 — 6 $сек$).

Числитель первого члена в скобках обозначает фактическое рабочее время в смену в минуту, знаменатель — время цикла, а член в скобках — число циклов в смену.

При работе по челночной схеме производительность бульдозера определяется по формуле:

$$П = \frac{480 K_{вр}}{\frac{L_{наб}}{v_{наб}} + \frac{L_{гр}}{v_{гр}} + \frac{L_{наб} + L_{гр}}{v_{пор}} + 2t_{под} + t_{перекл} n} V \ м^3/смену. \quad (58)$$

Производительность универсального бульдозера при разравнивании и планировке грунта исчисляется по формуле:

$$П = \frac{480 K_{вр}}{\frac{L_{фр}}{v_{гр}} + t_{пов}} L_{фр} \frac{b \sin \alpha - a}{n} \ м^3/смену, \quad (59)$$

где $L_{фр}$ — длина фронта работ в $м$;
b — ширина отвала в $м$;
α — угол захвата;
a — величина перекрытия проходок (0,2 — 0,5) $м$;
n — число проходок по одному месту.

Производительность бульдозера повышается при работе под уклон и снижается при работе на подъем.

По наблюдениям ДОРНИИ производительность повышается при работе под уклон в 5°—на 18%, в 10°—на 30%, в 15°—на 54% и в 20°—на 72%. При работе на подъем в 10° производительность снижается на 40%.

§ 7. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БУЛЬДОЗЕРОВ

Мероприятия по повышению производительности бульдозеров и рационализации их работ сводятся к следующему.

1) При траншейной схеме работ потери грунта с отвала в стороны уменьшаются. Однако полный эффект достигается только после нескольких проходок бульдозера.

2) Более целесообразно приделать к отвалу боковые открылки и уширители, что резко повышает производительность агрегата.

3) Рабочие пути агрегата следует поддерживать в хорошем состоянии, срезая отдельные бугры и засыпая ямы, чтобы уменьшить сопротивления движению и избежать потерь грунта.

4) При работе бульдозеров Д-157, Д-259 и Д-271, работающих на прицепе трактора С-80, целесообразно на обратном пути идти без поворотов на высоких задних скоростях, что сокращает время цикла. При работе агрегатов с тракторами, имеющими незначительные скорости заднего хода, целесообразно заменить шестерни в коробках передач для увеличения скоростей при движении агрегатов назад.

5) Следует использовать рельеф местности и если возможно вести рабочий ход под уклон, что обеспечивает значительное повышение производительности (до 40—70%).

6) При выборе способов организации работы следует принимать схему с наименьшей приведенной длиной, как наиболее производительную. Необходимо помнить, что при удачной и обоснованной схеме организации работ нормативная производительность бульдозеров может быть повышена на 50—100%.

7) Производительность бульдозеров повышается при увеличении объема перемещаемого грунта. Поэтому, если агрегат при своем рабочем движении двигается в различных производственных условиях, например сначала по горизонтальному участку, а затем на подъем, то целесообразно расчленить эти операции или выполнять их различными агрегатами.

8) С целью увеличения объема перемещаемого грунта желательно в соответствующих случаях работать по схеме с промежуточным валом.

9) Для увеличения области применения бульдозеров целесообразно в необходимых случаях применять бункерно-транспортерную схему организации работ с работой агрегатов по кольцу при небольшой дальности возки до бункера и с дальнейшей отвозкой высыпанного в бункер грунта ленточными транспортерами, большегрузными тележками или автосамосвалами.

Глава IX

ЭКСКАВАТОРНЫЕ РАБОТЫ И ПУТИ ИХ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ

§ 1. ТИПЫ ЭКСКАВАТОРОВ

Экскаваторы—весьма распространенные землеройные машины, предназначенные для копания грунта, подъема и перемещения его на небольшие расстояния в транспортные приборы или непосредственно в место укладки (дамбы, отвалы).

Экскаваторный парк в нашей стране быстро возрастает: если в 1917 г. у нас было лишь около 200 экскаваторов (из них 150 импортных), то в 1940 г. их число увеличилось до 2086, а в 1955 году в СССР работало уже 16 100 экскаваторов.

В последующие годы рост выпуска экскаваторов продолжался еще более высокими темпами.

Экскаватор состоит из рабочего оборудования для механического копания грунта, его подъема и перемещения; ходового оборудования для передвижки экскаватора и силового оборудования для приведения в действие механизмов копания и перемещения.

В зависимости от устройства рабочего оборудования различают экскаваторы: одноковшовые прерывного действия и многоковшовые, или многочерпаковые, непрерывного действия. Рабочее оборудование в каждой из этих двух основных групп неодинаково.

Основными разновидностями одноковшовых экскаваторов являются: механическая лопата, драглайн и обратная лопата; грейферный экскаватор; реже применяются одноковшовые экскаваторы с рабочим оборудованием струга и канавозасыпателя. В последние годы начали с успехом применять в качестве сменного оборудования одноковшовых экскаваторов устройства для планировки откосов.

Механическая лопата (рис. 81, *а*) имеет жесткую стрелу *3*, с которой связана жесткая рукоять *2* с прикрепленным на конце ее ковшом *1*, подвешенным к подъемному тросу. Рукоять движется поступательно от экскаватора и обратно к нему, благодаря чему ковш механической лопаты может с силой, под напором, врезаться в грунт. Стрела, вместе с рукоятью и ковшом, может подниматься и опускаться, а также поворачиваться и перемещать грунт с мест разработки к месту выгрузки. Силовое и рабочее оборудование экскаватора помещено на поворотной платформе *6* внутри кабины *7*. Во время работы экскаватор стоит на дне разрабатываемого забоя и работает «от себя»—снизу вверх. Механической лопатой можно разрабатывать самые разнообразные грунты—от легких и средних до самых тяжелых (скальные—с предварительным разрыхлением взрывами); она является в этом отношении единственной универсальной землеройной машиной. Рабочее оборудование механической лопаты состоит из стрелы, рукояти с ковшом и напорным механизмом, подъемного и поворотного устройств.

Механическая лопата изобретена в 1833 г.—раньше других землеройных машин. Ее применяют очень широко при производстве земляных работ на различных стройках. При сравнительно короткой стреле механическую лопату используют почти исключительно для работы на транспорт.

Лопаты ЭГЛ-15 со стрелой длиной 34 *м* и рукоятью длиной 19,5—18 *м*, имеют максимальный радиус резания $R_{макс} = 40$ *м* и максимальный радиус выгрузки $r_{макс} = 37{,}5$ *м*. Ввиду исключительно больших параметров этого экскаватора-гиганта им можно работать в отвал (бестранспортная работа); непосредственно на транспорт этим экскаватором работать нельзя из-за отсутствия технологически комплектных транспортных приборов.

Драглайн (рис. 81, *в*) отличается от механической лопаты отсутствием рукояти; ковш *4* крепится к подъемному *1* и тяговому *2* канатам. Наполнение ковша совершается подтягиванием к экскаватору тяговым канатом ковша, опущенного на землю, после чего наполненный ковш поднимают и поворачивают стрелу с ковшом к месту разгрузки.

Драглайн работает не «от себя», как механическая лопата, а «на себя». Отсутствие рукояти, создающей напор на ковш, и способ наполнения ковша являются причиной того, что драглайн приспособлен к разработке преимущественно легких и средних грунтов. Во время работы экскаватор стоит наверху забоя, что позволяет вести работы ниже горизонта грунтовых вод без специальных мероприятий по отводу воды и даже работать под водой, хотя и с меньшей производительностью. В этом большое преимущество драглайна перед механической лопатой, для которой требуется предварительное осушение разрабатываемого забоя.

Стрела *3* драглайна подвержена значительно меньшим усилиям, чем стрела механической лопаты, и поэтому имеет более легкое сечение, но зато бóльшую длину—она в 1,7—2,3 раза длиннее стрелы механической лопаты одинаковой марки. Это существенно расширяет возможность работать экскаватором в отвал (без транспорта).

Ковш, в целях увеличения длины стрелы, иногда делают меньшей емкости, чем ковш соответствующей механической лопаты. Драглайн может быть снабжен также крановым и копровым сменным оборудованием (рис. 81, *г* и *е*).

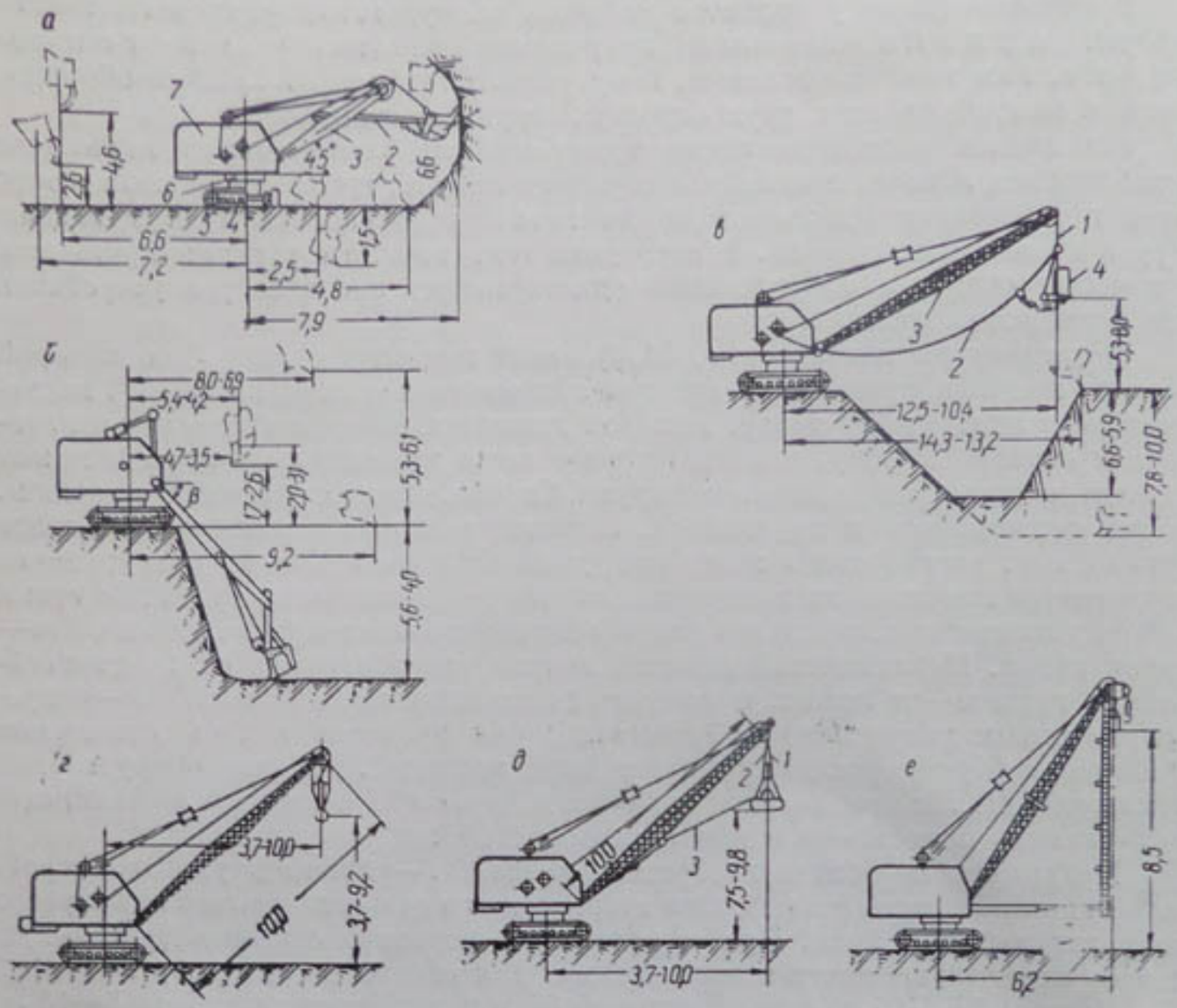


Рис. 81. Экскаватор одноковшовый Э-505 с ковшом емкостью 0,5 м³:
а—прямая лопата: *1*—ковш; *2*—рукоять; *3*—стрела; *4*—ходовая рама; *5*—гусеничный ход; *6*—поворотная платформа; *7*—кабина экскаватора. *б*—обратная лопата; *в*—драглайн: *1* и *2*—подъемный и тяговый канаты; *3*—стрела; *4*—ковш. *г*—кран; *д*—грейфер: *1*, *2* и *3*—подъемный смыкающий и оттяжной канаты. *е*—копер.

Грейферный экскаватор с самозахватным ковшом (рис. 81, *д*) отличается от драглайна устройством ковша и отсутствием тягового каната. Ковш состоит из 2—4 челюстей; при отпускании подъемного каната *1* он в открытом состоянии падает на землю почти со скоростью свободного падения. При падении ковш врезается в грунт, после чего его челюсти специальным приспособлением соединяются при натягивании смыкающего каната *2* и захватывают грунт. Затем ковш поднимается и поворачивается к месту разгрузки. Ковш удерживается от вращения оттяжным канатом *3*.

Подобный способ захвата грунта делает грейферный экскаватор незаменимой машиной при работе в узких местах. Но вместе с тем способ захвата грунта определяет применение этого типа экскаватора для работы лишь в легких и средних грунтах. Он может работать, находясь как внизу, так и вверху забоя.

Обратная лопата (рис. 81, *б*) имеет, подобно прямой лопате, стрелу и рукоять; при работе машина стоит, как и драглайн, наверху забоя и работает «на себя»—снизу вверх.

Наша промышленность освоила выпуск следующих марок одноковшовых экскаваторов: а) на пневмоколесном ходу Э-1510, Э-221, Э-302, Э-656; б) на гусеничном ходу (рис. 82) Э-651, Э-652, Э-6512, Э-801, Э-1251, Э-1252,

Э-2001, Э-2002, Э-2005, СЭ-3, ЭГЛ-15 (см. рис. 94); в) на шагающем ходу ЭШ-4/40, ЭШ-14/75.

Кроме того, для работ по осушению болот и заболоченных земель освоен выпуск экскаваторов с уширенными гусеницами—Э-303, Э-304, Э-352, ТЭ-2М, Э-653.

Марки экскаваторов расшифровываются следующим образом. Например, Э-651 обозначает одноковшовый экскаватор с ковшом емкостью 0,65 $м^3$, первая модель; ЭШ-14/75—экскаватор шагающий с ковшом емкостью 14 $м^3$ и стрелой длиной 75 *м*.

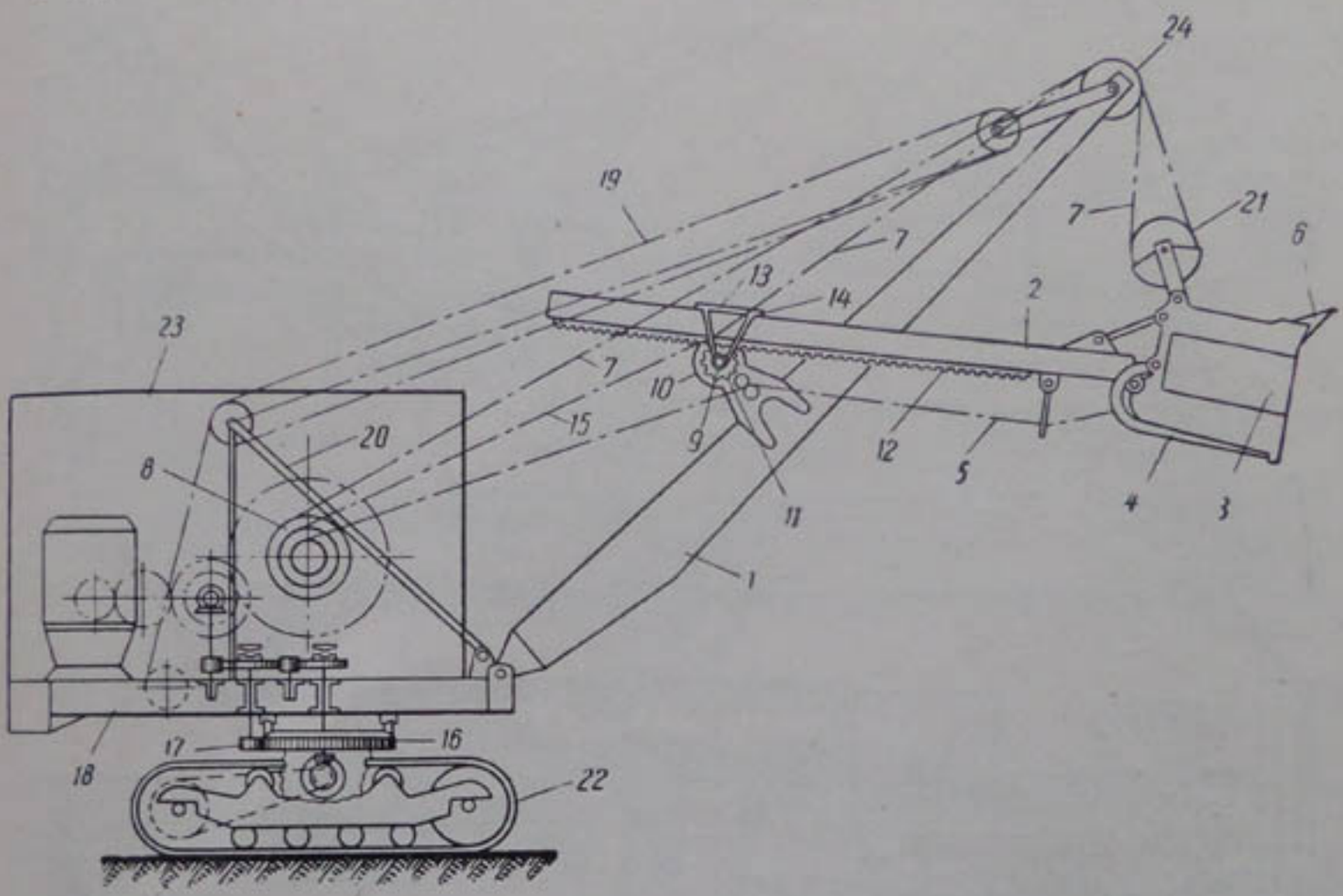


Рис. 82. Схема механической лопаты с ковшом 0,5 $м^3$:

1—стрела; *2*—рукоять; *3*—ковш; *4*—днище ковша, шарнирно прикрепленное к задней стенке; *5*—канат для открытия задвижки днища; *6*—сменные режущие зубья; *7*—подъемный канат; *8*—главная двухбарабанная лебедка; *9*—напорный вал; *10*—барабан напорного вала; *11*—зубчатые колеса, находящиеся в сцеплении с зубчатыми рейками *12* и сообщающие движение рукояти; *13*—седловые подшипники, прижимающие рукоять к зубчатым колесам; *14*—ползуны; *15*—возвратный канат; *16*—опорный зубчатый венец; *17*—поворотная шестерня; *18*—поворотная платформа; *19*—стреловой канат, удерживающий стрелу в данном положении; *20*—двуногая стойка; *21*—обойма с полиспастом; *22*—ходовая многоопорная гусеничная тележка; *23*—кабина; *24*—головной ролик.

Серийно выпускается новая модель экскаватора Э-153 с ковшом емкостью 0,15 $м^3$ (рис. 83), который должен найти широкое применение на гидромелиоративных работах небольшого масштаба, в сельском хозяйстве на строительстве малых гидростанций и на ряде других некрупных работ. Экскаватор выполнен на базе колесного трактора «Беларусь» МТЗ-2 на пневмоколесном ходу; рабочий вес его 5,3 *т*; он может передвигаться вперед со скоростями от 4,5 до 13 *км/час*, назад—3,4 *км/час*. Экскаватор имеет следующее сменное рабочее оборудование: прямую и обратную лопаты, бульдозерный отвал, кран, вилы для навоза, ковши для корнеплодов, извести, торфа, зерна и т. д. Техническая производительность в грунтах III категории равна 20—30 $м^3$/*час*.

Особенностью экскаватора является гидравлическое управление (стрелой, рукоятью, открыванием ковша, поворотами, опорными башмаками, тракторным бульдозером). При работе с обратной лопатой он может отрывать котлован с отвесными стенками с минимальными размерами 1,5×2 *м* глубиной до 2,2 *м*; наибольший радиус копания 4,1 *м*.

Новая модель экскаватора на пневмоколесном ходу Э-302 имеет транспортную скорость до 13 *км/час*; наличие в ходовой части двух ведущих мостов обеспечивает повышенную проходимость и позволяет легко и быстро маневрировать по любому дорожному покрытию. Экскаватор предназначен для производства земляных работ в условиях городского, сельского и дорожного строительства (рис. 84). Экскаватор полноповоротный, емкость ковша 0,3 $м^3$; в комплект рабочего оборудования входят: прямая лопата, обратная лопата, драглайн, грейфер, кран и рыхлитель мерзлых грунтов с дизель-молотом С-254.

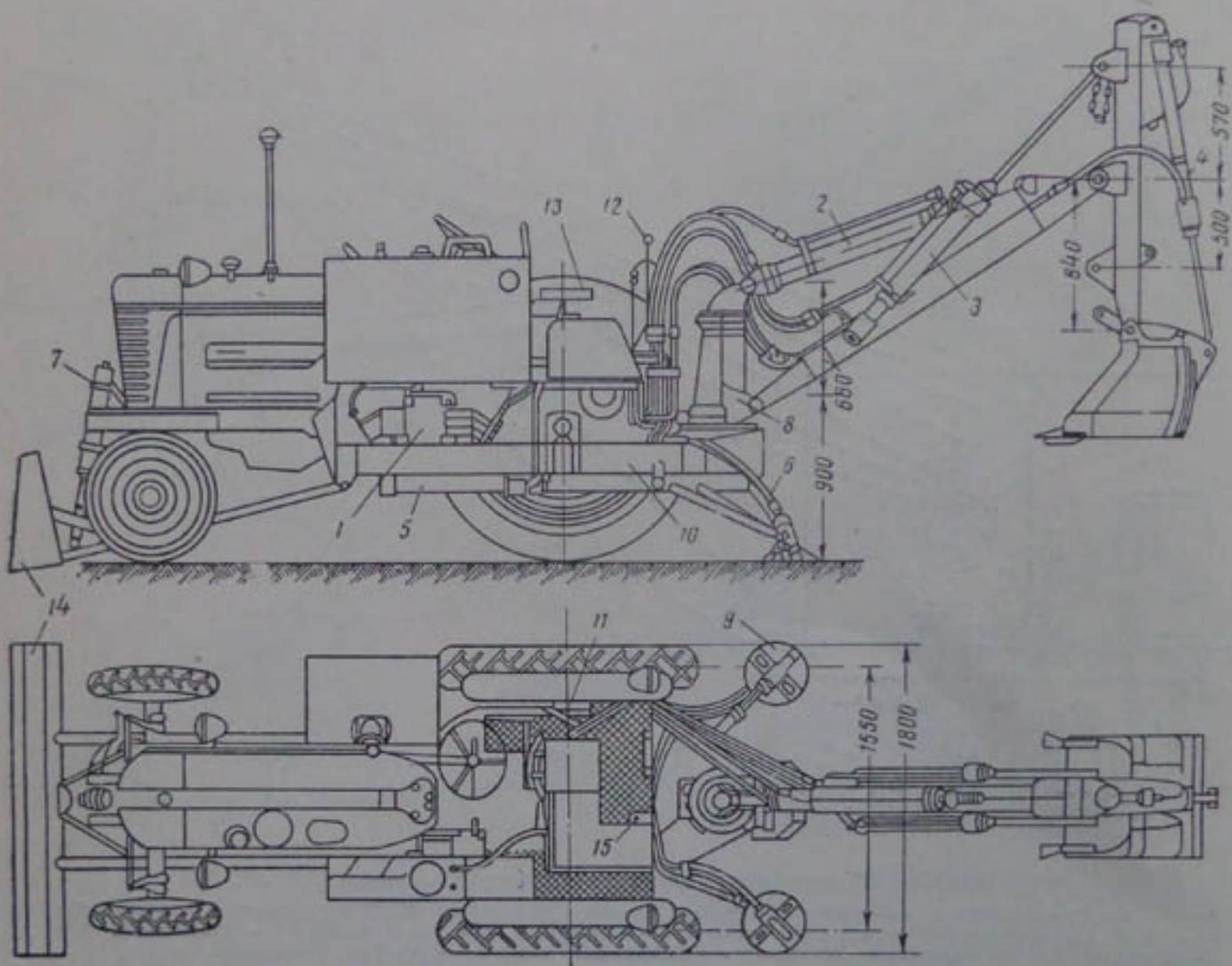


Рис. 83. Экскаватор Э-153 с рабочим оборудованием обратной лопаты:
1—насосная группа; *2*—гидроцилиндр стрелы; *3*—гидроцилиндры рукояти; *4*—гидроцилиндр ковша; *5*—гидроцилиндры поворота; *6*—гидроцилиндры опорных башмаков; *7*—гидроцилиндр бульдозера; *8*—поворотная колонка; *9*—опорные башмаки; *10*—рама; *11*—гидрораспределители; *12*—рычаги управления; *13*—сиденье машиниста; *14*—бульдозерный отвал; *15*—педаль плавающего положения.

Нашей промышленностью созданы новые модели крупных экскаваторов. Уралмашзавод освоил выпуск самых больших в мире шагающих экскаваторов ЭШ-25/100 с ковшом емкостью 25 $м^3$; для открытых горных разработок и крупных объемов земляных работ в гидротехническом строительстве Ново-Краматорским заводом создан шагающий экскаватор ЭШ-6/60 производительностью 370 $м^3$/*час*. На базе шагающего экскаватора ЭШ-14/75 подготавливается выпуск экскаватора-драглайна ЭШ-15/90.

Новые модели экскаваторов имеют ряд конструктивных улучшений по сравнению с ранее выпускавшимися экскаваторами Э-257, Э-258, Э-255, Э-353, Э-505, Э-754, Э-1004 и др.—пневматическое управление, лучшую конструкцию передач, многомоторный привод, повышенную емкость ковшей, а также бóльшую производительность и меньшую удельную металлоемкость.

Электрические экскаваторы-драглайны на шагающем ходу ЭШ-14/75 (рис. 85) имеют трубчатую, из легированной стали, стрелу, которая на 30—40% легче стрелы аналогичных зарубежных экскаваторов.

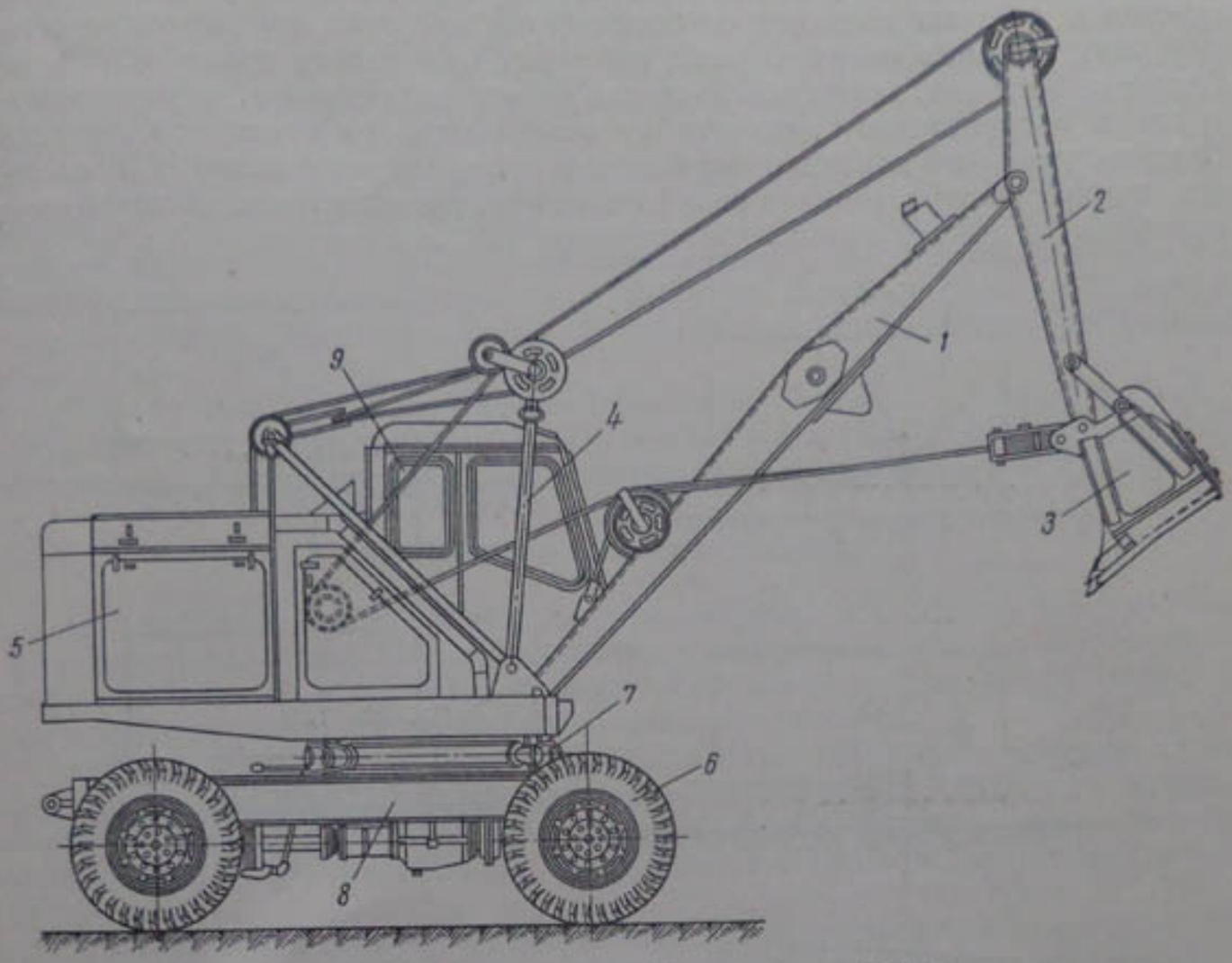


Рис. 84. Пневмоколесный экскаватор Э-302:

1—стрела; *2*—рукоять ковша; *3*—ковш; *4*—передняя стойка; *5* двигатель; *6* пневмоколесный ход; *7*—поворотная платформа; *8*—рама экскаватора; *9*—кабина с пультом управления.

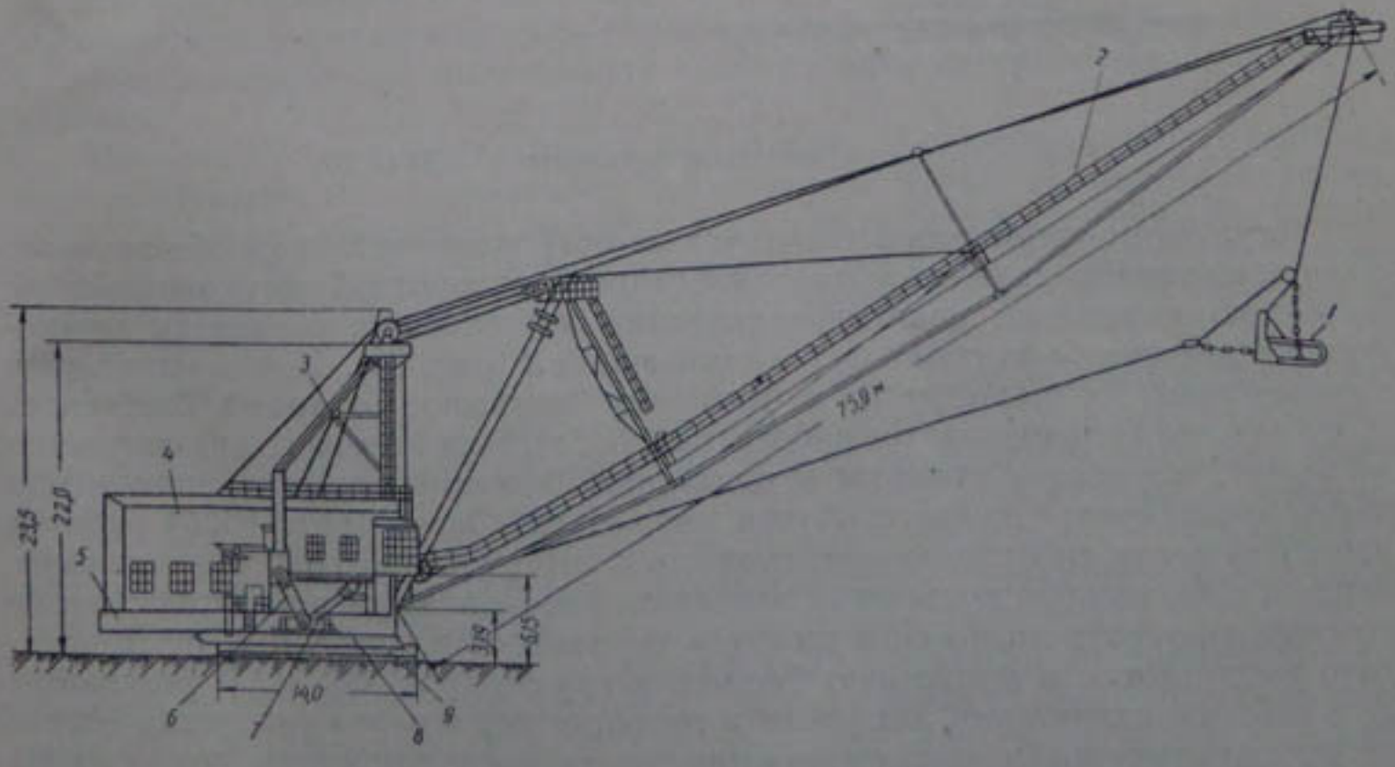


Рис. 85. Экскаватор ЭШ-14/75:

1—ковш; *2*—стрела; *3*—двуногая стойка; *4*—кузов; *5*—поворотная платформа; *6*—главный цилиндр шагающего механизма; *7*—вспомогательный цилиндр шагающего механизма; *8*—опорный башмак; *9*—нижняя опорная рама.

Основанием экскаватора служит опорная рама *9*, представляющая собой круглую стальную плиту диаметром 14 *м* и высотой 1,1 *м*. Эта рама принимает на себя и передает давление от экскаватора во время его работы; среднее удельное давление опорной рамы на грунт при работе около 0,8 *кг/см²*. Опорные башмаки, поднятые во время работы экскаватора, опускаются на грунт и воспринимают давление от экскаватора во время его шагания. Среднее удельное давление от башмаков при передвижении 1,3 *кг/см²*. На опорной раме установлен роликовый круг, поддерживающий поворотную платформу *5* длиной около 20 *м*, шириной 11,2 *м* и высотой 1,4 *м*.

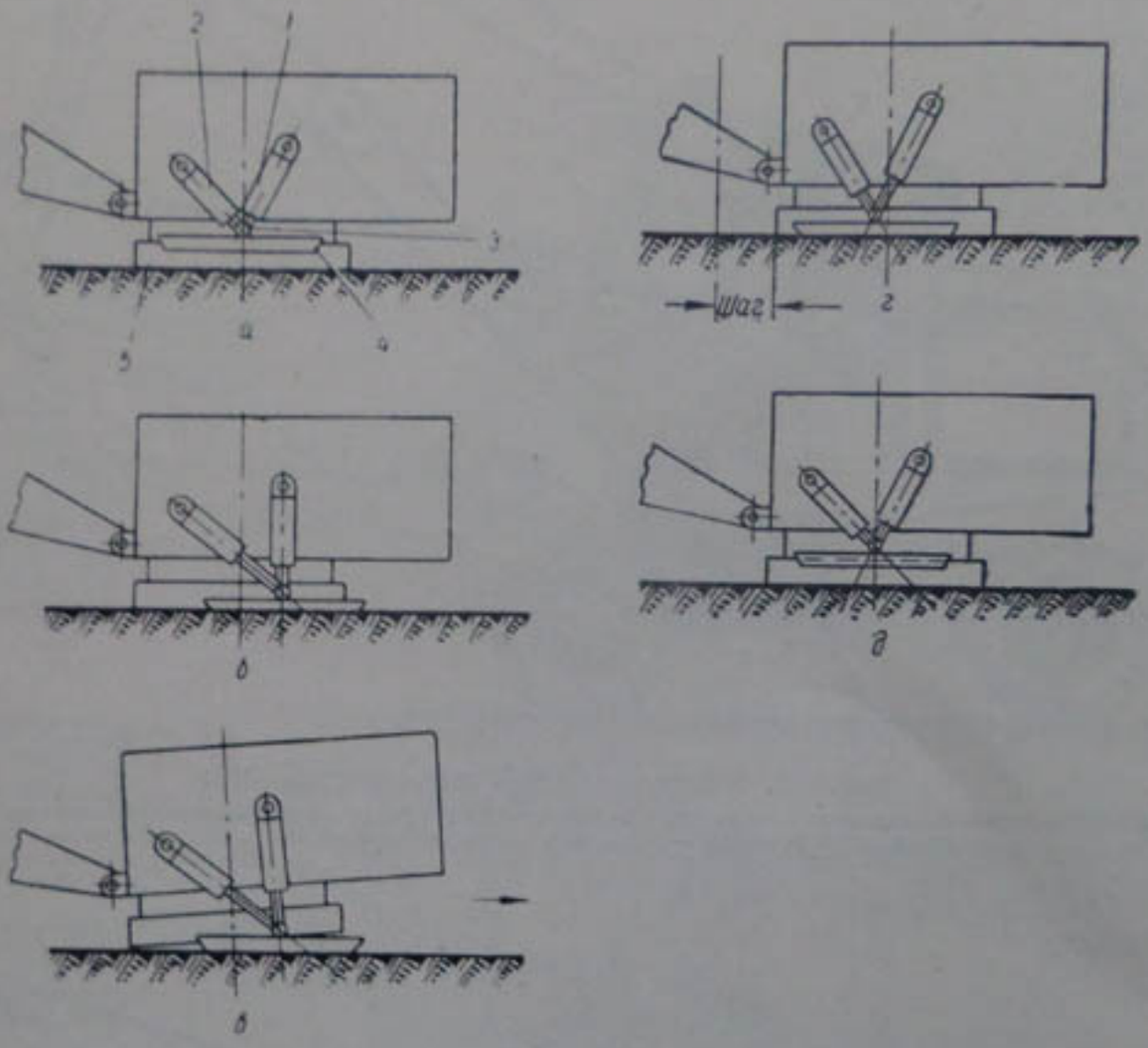


Рис. 86. Схема шагания экскаватора ЭШ-14/75.

Плунжерно-шарнирный (гидравлический) шагающий ход обеспечивает полную плавность движений: с каждой стороны поворотной части экскаватора шарнирно укреплены два гидравлических плунжерных толкателя двустороннего действия—подъемный *1* и толкающий *2* (рис. 86). Концы плунжеров присоединены к шарниру *3*, к которому подвешен опорный башмак *4*. В период, когда производится работа (рис. 86, *а*), база *5* экскаватора опирается на грунт, плунжеры втянуты в цилиндры, башмаки подняты, поворотная часть экскаватора может свободно вращаться. Затем (рис. 86, *б*) рабочая жидкость подается в толкающий цилиндр *2*, шток которого опускает опорный башмак и перемещает подъемный толкатель в вертикальное положение; далее рабочая жидкость подается в цилиндр подъемного толкателя *1*, шток которого выдвигается и прижимает башмак к грунту (рис. 86, *в*). В результате дальнейшего нагнетания жидкости в цилиндр подъемного толкателя экскаватор наклоняется и приподнимается на штоках подъемных толкателей; в этот момент около 90% веса экскаватора передается на башмаки; остальная часть веса передается на грунт через кромку опорной базы.

После того как экскаватор поднят на полную высоту, рабочая жидкость подается в надплунжерную полость цилиндра толкателя *2* (рис. 86, *г*) и экскаватор перемещается по направлению движения до полного соприкосно-

вения базы *5* экскаватора с грунтом. Затем рабочая жидкость подается в плунжерные полости цилиндров толкателей (рис. 86, *д*) и башмаки приподнимаются в исходное положение (рис. 86, *а*).

На основе опыта изготовления и работы первых экскаваторов Уралмашзавод выпускает в настоящее время машины улучшенной конструкции. В этих моделях значительно упрощен монтаж экскаватора и повышена производительность на 25—30%.

Основным видом рабочего оборудования экскаваторов является механическая лопата. Путем замены стрелы и ковша, перестановки системы канатов и добавления тяговой лебедки механическая лопата в несколько часов может быть переоборудована в драглайн. Заменив ковш драглайна и изменив систему запасовки канатов, можно быстро смонтировать грейферный экскаватор.

Экскаваторы, для которых изготовляется только 2—3 вида сменного оборудования, называются полууниверсальными, а снабжаемые всеми видами сменного оборудования—универсальными.

§ 2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ЛОПАТЫ

Полноповоротная механическая лопата (рис. 82) состоит из рабочего оборудования (стрелы, ковша и рукояти), вращающейся платформы, на которой расположено рабочее и силовое оборудование (двигатель, лебедки, рычаги управления, трансмиссии) и ходовой тележки.

Рабочее оборудование механических лопат. Стрела *1* экскаватора представляет собой металлическую или комбинированную (металл и дерево) прямоугольную балку переменного сечения. Длина стрелы с ковшами емкостью 0,25—2 $м^3$ изменяется от 4,9 до 8,6 *м*, а с ковшом емкостью 3 $м^3$ до 10,5 *м*.

Нижний конец стрелы шарнирно крепится к платформе экскаватора, что позволяет ставить стрелу под различными углами к горизонту (обычно от 30 до 60°), и закрепляется боковыми растяжками. Стрела удерживается в данном положении стреловым канатом *19*, перекинутым через блоки в верхнем конце стрелы и наверху двуногой стойки *20*; один конец каната закрепляется на барабане подъемной лебедки, а другой на стреле или двуноге. Стрела обычно проходит между двумя ветвями рукояти (внешний тип рукояти), кроме механической лопаты Э-505, имеющей две ветви стрелы, внутри которых проходит рукоять.

Рукоять *2* с прикрепленным к ней ковшом *3* совершает при работе три рода движений: напорное, при котором зубья врезаются в грунт, подъемное, сопровождающееся резанием грунта и наполнением ковша, и поворотное для переноса ковша к месту разгрузки. Этим движениям соответствуют три механизма экскаватора: напорный, подъемный и поворотный.

Такова схема устройства большинства наших экскаваторов; исключение составляют экскаваторы малых моделей безнапорных лопат с ковшами емкостью 0,25 $м^3$, в которых напорное усилие создается собственным весом рабочего оборудования (экскаваторы Э-255, Э-257 и др.). Рукоять в экскаваторах с напорным движением представляет стальную балку с кремальерами в нижней ее части или без них. В первом случае перекатывание рукояти производится по шестеренкам, а во втором по напорному валу.

Рукоять прижимается к напорному валу седловыми подшипниками *13*, охватывающими ветви рукояти. Вращение напорного вала осуществляется либо специальным двигателем (СЭ-3), либо от главного двигателя. В экскаваторах с напорным движением рукояти последнее создается в виде независимого цепного (канатного) напора, зависимого канатного напора или комбинированного напора.

Процесс копания грунта прямой лопатой возможен только при совместном действии подъемного и напорного усилия $S_{под}$ и $S_{нап}$ (рис. 87). Для

заглубления ковша в грунт требуется только незначительное усилие, характеризуемое силой отпора P_2.

Однако в современных механических лопатах с независимым напором напорное усилие $S_{нап}$ превосходит в десятки раз фактически необходимое P_2; это объясняется тем, что против усилия напора постоянно действует составляющая x усилия подъема.

Так как величина составляющей x возрастает с выдвижением рукояти, то отсюда следует рациональность работы с короткими передвижками, меньшими, чем максимально возможное выдвижение рукояти.

При независимом напоре (рис. 88, *а*) один конец каната подъемного полиспаста закреплен на правом барабане подъемной лебедки *3*; затем канат огибает правый головной ролик стрелы, нижний блок полиспаста *12* и, пройдя через левый головной блок, закрепляется на голове стрелы.

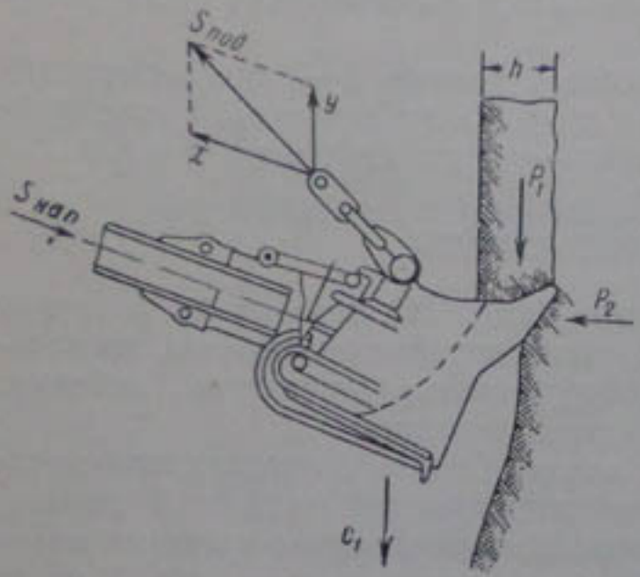


Рис. 87. Схема сил, действующих на ковш экскаватора.

Таким образом, напорное движение ковша не связано с его подъемом, и усилие от второго конца подъемного каната остается неиспользованным. В этом заключается крупный недостаток независимого напора, так как приходится затрачивать мощность двигателя не только на преодоление составляющей x подъемного усилия $S_{под}$.

Лауреат Сталинской премии А. С. Ребров и инж. И. Л. Беркман предложили комбинированную систему напора (рис. 88, *б*), при которой второй конец подъемного каната закрепляется не на оголовке стрелы, а на дополнительном напорном барабане *11*, устанавливаемом на свободном конце оси основного напорного барабана *8*, и свариваемом с последним.

При включении фрикциона подъемного барабана на подъем ковша, под влиянием вращающего момента, передаваемого на напорный барабан подъемным канатом, в напорном канате возникает натяжение, компенсирующее вредную составляющую x силы $S_{под}$. Мощность двигателя будет затрачиваться только на преодоление силы P_2 (рис. 87), так как составляющая x уже уравновешена вращающим моментом.

В большинстве случаев действие указанного вращающего момента достаточно не только для компенсации силы x, но и для автоматического заглубления ковша в грунт; только в отдельных случаях приходится включать фрикцион напорного барабана, что существенно облегчает управление экскаватором.

Преимуществами комбинированного напора по сравнению с независимым являются: более эффективное использование мощности двигателя; увеличение вследствие этого толщины стружки и возможность разработки забоев пониженной высоты; автоматизация подачи рукояти.

При зависимом канатном напоре (рис. 82) вращение напорного вала *9* и напорное движение связаны с подъемным движением ковша, вследствие чего такой напор и называется зависимым. Подъемный канат *7*, намотанный на левый барабан главной лебедки *8*, идет к голове стрелы и огибает головной ролик *24*, полиспаст *21*, затем второй головной ролик огибает сверху напорный барабан, наматывается и крепится на его левой части. Поэтому при натяжении подъемного каната напорный барабан поворачивается, рукоять выдвигается и создается напор ковша на грунт. На правой части напорного барабана навит и закреплен возвратный канат *15*, второй конец которого идет на правый возвратный барабан главной лебедки. При напорном движении возвратный канат сматывается с главной лебедки, а при

наматывании его происходит возвратное движение рукояти. Притормаживанием возвратного барабана можно регулировать усилие напора.

Экскаваторы Э-753, Э-754 с зависимым напором, как конструктивно устаревшие, заменены в настоящее время экскаваторами Э-801 с ковшом 0,8 $м^3$.

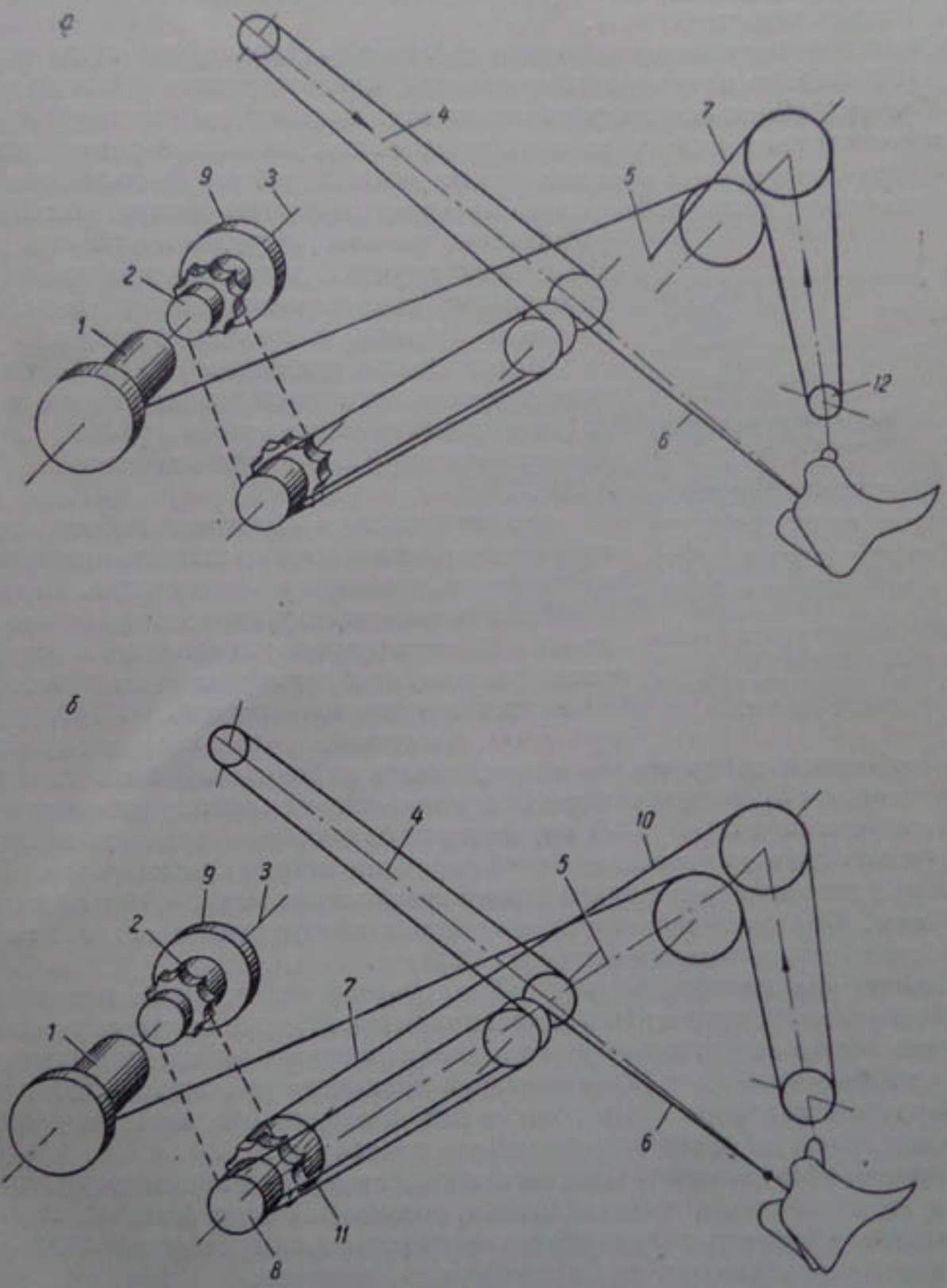


Рис. 88. Схема запасовки канатов напорного механизма:

а—независимый напорный механизм; б—комбинированный напорный механизм: 1—возвратный барабан; 2—подъемный барабан; 3—ось главной лебедки; 4—ось рукояти; 5—ось стрелы; 6—возвратный канат; 7—напорный канат; 8—напорный барабан; 9—фрикцион напора; 10—ветвь подъемного каната; 11—дополнительный напорный барабан; 12—нижний блок полиспаста.

Ковши, открытые сверху и спереди, ранее изготовлявшиеся почти кубическими, теперь изготовляются уширенными, что улучшает их наполнение при невысоких забоях; они имеют 3—5 сменных зубьев. Задняя стенка ковша—днище *4*, через которую происходит его опорожнение, прикреплена к ковшу на шарнире и имеет щеколду со скошенным концом для его закрывания.

Открывание щеколды при опорожнении ковша производится канатом *5*, а закрывание—силой тяжести.

Ковш прикреплен к подъемному канату *7* через обойму с полиспастом *21*, а в некоторых экскаваторах (СЭ-3) прямо к подъемному канату. Кроме того, ковш прикреплен в двух точках к рукояти; изменяя угол между ковшом и рукоятью, можно получить нужный угол резания. Подъем ковша производится подъемным канатом *7*.

Советское экскаваторостроение добилось за последние годы крупных успехов и создало первоклассные машины, превосходящие лучшие зарубежные образцы. Наши экскаваторы отличаются большой долговечностью, высокой производительностью, минимальным весом, большими резервами мощности, позволяющими в зависимости от условий работы широко маневрировать емкостью ковшей и повышать производительность машин. Экскаваторы рассчитаны на самые трудные условия работы в тяжелых грунтах, и это создало возможность применения ковшей повышенной емкости при работе в средних и легких грунтах.

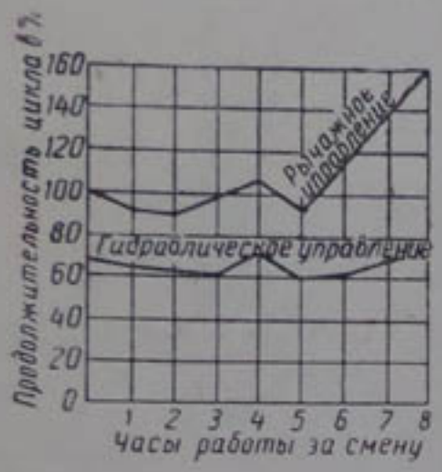


Рис. 89. Влияние типа управления экскаватором на время цикла в различные часы рабочей смены.

Механическое (рычажное) управление рабочими движениями заменено в некоторых моделях гидравлическим управлением (Э-661, Э-1252), электрическим (СЭ-3), пневматическим (Э-303, Э-2002).

Это значительно облегчает работу экскаваторного механика и повышает производительность экскаватора, особенно в конце смены. Например, прежняя модель полукубового экскаватора ЛК-А имеет рычажно-ручное управление, и для включения рычагов требуется усилие до 15 *кг*, причем машинист должен производить до 2400 включений в час. Естественно, что к обеденному перерыву и особенно к концу смены интенсивность работы машиниста снижается. Экскаватор Э-651 с гидравлическим управлением требует для включения рычагов усилия только 2—3 *кг*, вследствие чего утомляемость машиниста значительно меньше отзывается на времени цикла экскаватора. Время цикла при гидравлическом управлении значительно меньше, чем при рычажно-ручном. Это свидетельствует о крупном преимуществе гидравлического управления перед рычажным (рис. 89).

Поворотная платформа (рис. 82) опирается роликами на неподвижный зубчатый венец *16*, лежащий на ходовой тележке *22*, и перекатывается по нему, вращаясь около вертикального вала. В зацеплении с зубчатым венцом находится зубчатая шестерня *17*, ось которой проходит через втулку, заделанную в поворотной платформе. При вращении шестерни она перекатывается по зубчатому венцу и вращает поворотную платформу.

Ходовое оборудование. Современные одноковшовые экскаваторы передвигаются на гусеничном, автомобильном, пневмоколесном и шагающем ходу. Наибольшее распространение имеют экскаваторы на гусеничном ходу благодаря своей подвижности и быстроте передвижения.

В последнее время значительно увеличен выпуск экскаваторов малых моделей с ковшами емкостью 0,15 и 0,25 $м^3$ и экскаваторов Э-656 и Э-5011 на пневмоколесном ходу.

Кроме различий по виду рабочего, ходового и силового оборудования, одноковшовые экскаваторы делятся на две группы еще и по способу и величине угла вращения стрелы экскаватора: неполноповоротные, вращающиеся на угол 270°, и полноповоротные, вращающиеся на угол 360°.

Современные одноковшовые советские экскаваторы изготовляются полноповоротными, кроме экскаватора Э-153.

Гусеничный ход состоит из широкой гусеничной ленты из плоских стальных секций, шарнирно соединенных между собой и охватывающих напра-

вляющие и ведущие колеса. По способу передачи давления на грунт различают гибкие малоопорные (рис. 90, *а*) и жесткие многоопорные гусеницы (рис. 90, *б*). В современных экскаваторах чаще всего применяются гусеницы второго типа, как имеющие ряд преимуществ. В жестких гусеницах давление от экскаватора передается на жесткую раму, опирающуюся на оси опорных роликов небольшого диаметра; последние передают давление через нижнюю ветвь гусеничной ленты на грунт.

На каждый ролик приходится не более двух звеньев гусеничной ленты. Ширина гусеничной ленты от 360 до 900 *мм*. Среднее давление на грунт от 0,54 до 1,20 *кг/см²* для экскаваторов с ковшами от 0,25 до 2 *м³*; для экскаватора СЭ-3 с малоопорными гусеницами он составляет 1,8 *кг/см²*. Во время работы давление на отдельные гусеницы распространяется неравномерно и резко увеличивается.

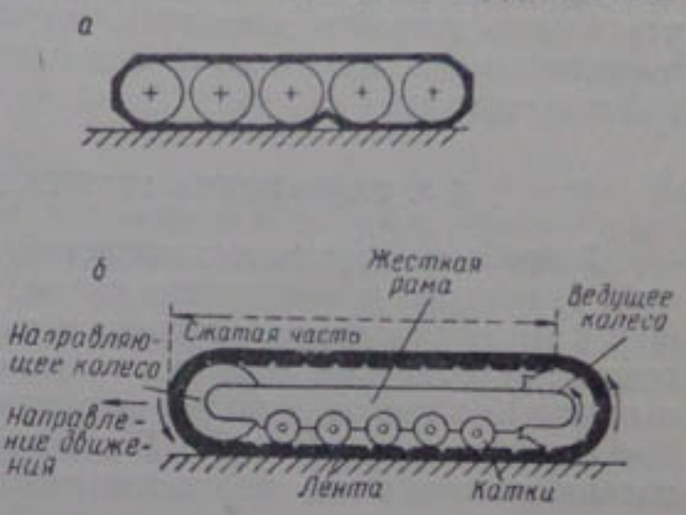


Рис. 90. Гусеничные ленты:
а—гибкая малоопорная; *б*—жесткая многоопорная.

Экскаваторы болотной модификации, в целях улучшения их проходимости, имеют уширенные гусеницы (1190—1300 *мм*) со средним давлением на грунт 0,15—0,20 *кг/см²*, что меньше давления от ступни человека, равного 0,4—0,5 *кг/см²*.

Шагающие экскаваторы оказывают среднее давление на грунт при работе 0,50—0,73 и при передвижении 1,0—1,2 *кг/см²*. Для шагания экскаватор имеет две опоры, на которые он последовательно опирается во время передвижения (рис. 86).

Экскаваторы на пневмоколесном ходу оказывают среднее давление на грунт в пределах 5,5—6 *кг/см²*.

Силовое оборудование. Как процессу резания грунта, так и другим операциям рабочего цикла присущ переменный и неравномерный режим с частыми включениями и переменами направления действия, что в связи с большим весом рабочего оборудования, служит причиной частых толчков.

В процессе резания отдаваемая мощность двигателя резко изменяется при встрече тяжелых грунтов или прослоек более легких грунтов. Поэтому экскаваторные двигатели должны обладать способностью к быстрому саморегулированию.

Этим условиям удовлетворяют паровые машины, быстро повышающие вращательный момент за счет уменьшения скорости; они имеют и другие достоинства—малую чувствительность к толчкам и ударам, простоту конструкции и ухода за машиной; однако к.ц.д. их низок, они потребляют много топлива и используют для питания воду только хорошего качества, для обслуживания их требуется много людей. Поэтому паровые машины в настоящее время на экскаваторах не применяются.

На современных экскаваторах устанавливаются дизельные и электрические двигатели.

Режим работы дизелей лучше отвечает условиям работы экскаваторов, но приспособляемость их к перегрузке невелика, поэтому мощность их принимается с запасом. При двигателях внутреннего сгорания применяется одномоторный привод, вследствие чего трансмиссионные устройства усложняются и удорожаются. К достоинствам дизелей относятся высокий к.и.д., малое количество потребляемой воды и невысокие требования к ее качеству, малое количество топлива и быстрый пуск в ход, а к недостаткам—сложность конструкции и ухода, чувствительность к толчкам, ударам и изменениям нагрузки, работа на нефтяном топливе и затруднительность пуска при низкой температуре. Дизели, за малым исключением, поставлены на экскаваторах с емкостью ковша до 1,25 *м³* включительно.

К достоинствам электрического оборудования экскаваторов относятся: высокий к.п.д. (наибольший по сравнению с другими видами силового оборудования), мгновенное включение и выключение двигателей независимо от времени года, допустимость перегрузок, минимум эксплуатационного штата, малая чувствительность к толчкам и ударам. Однако для применения экскаваторов с электрическим оборудованием необходимы линии электропередач, трансформаторные подстанции, кабель.

Электрическое силовое оборудование поставлено на экскаваторах Э-504, Э-753, Э-1003, Э-2001, СЭ-3, ЭГЛ-15, ЭШ-4/40, ЭШ-14/75.

Дизель-электрическое оборудование отличается от электрического тем, что вместо сетевого двигателя, питающегося от линии электропередачи, имеется дизель, приводящий в движение генератор, снабжающий энергией рабочие моторы.

§ 3. РАЗРАБОТКА ГРУНТА МЕХАНИЧЕСКОЙ ЛОПАТОЙ

Разработка грунта механической лопатой состоит из следующих операций: 1) копания и наполнения ковша; 2) поворота стрелы с рукоятью и ковшом к месту разгрузки, сопровождающегося подъемом ковша до уровня разгрузки; 3) разгрузки, обычно в транспортные приборы; 4) обратного поворота и опускания ковша в положение для набора.

Копание грунта (рис. 91). При оторможенной главной лебедке и напорном механизме ковш под действием собственного веса занимает положение I,

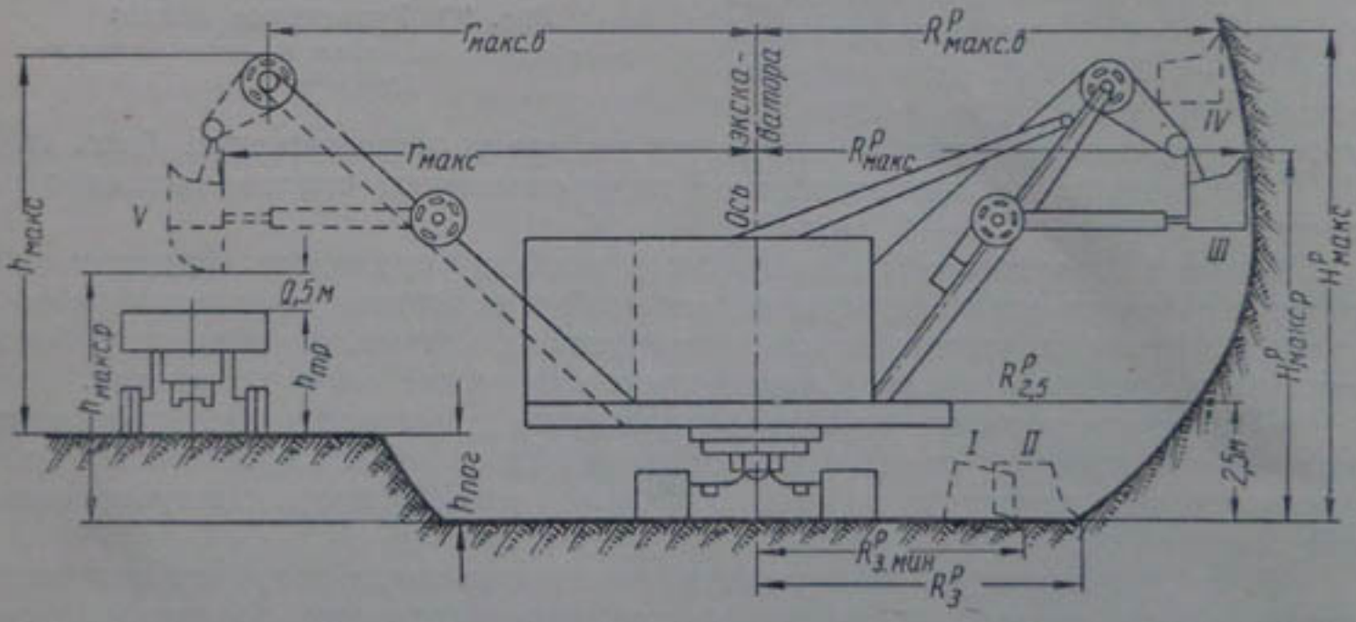


Рис. 91. Схема работы механической лопаты с указанием рабочих параметров.

причем его зубья находятся на уровне стояния экскаватора, а ковш закинут возможно ближе к ходовой тележке, но так, чтобы он не ударял по гусеницам во избежание поломок.

Включается главная (подъемная) лебедка и напорный механизм, рукоять выдвигается вперед; ковш начинает подниматься и срезать стружку, падающую в ковш; толщина стружки зависит от напорного усилия и рода грунта. В дальнейшем ковш постепенно поднимается, рукоять продолжает выдвигаться, обеспечивая на весь период копания врезание ковша в грунт под напором, создаваемым напорной машиной. Резание продолжается до наполнения ковша (положение III) или до проходки ковшом всей высоты забоя (положение IV).

Во время копания с нажимом ковша на грунт нагрузка напорного механизма достигает за 1—2 *сек* своего максимума, причем возрастание нагрузки происходит рывками.

Наполнение ковша зависит от толщины стружки и от длины пути резания. Так как толщина стружки при разработке мягких грунтов больше, чем

при разработке тяжелых, то для своего наполнения ковшу необходимо пройти в тяжелых грунтах более длинный путь, чем в легких. Для повышения производительности экскаваторов механик должен возможно полнее использовать мощность напорной машины в целях получения стружки максимальной толщины.

Не следует работать на полностью вытянутой рукояти, так как в этом случае уменьшается напорное усилие вследствие увеличения противоположной ему по направлению составляющей подъемного усилия (при независимом напоре); усложняется работа экскаваторного механика и увеличивается время цикла. Передовые экскаваторщики делают передвижку после использования хода рукояти на 70—75%.

Во время работы лопаты необходимо наблюдать за тем, чтобы не происходило просадок ее, так как это вызывает качку лопаты и уменьшает ее производительность.

В процессе копания необходимо обеспечивать ровную площадку для дальнейшего передвижения экскаватора; это освобождает экскаватор от дополнительной работы, а в некоторых случаях даже от ручной планировки пути передвижения.

Если высота забоя больше необходимой для наполнения ковша, а грунт при подкапывании снизу осыпается, то вначале разрабатывают только подошву забоя. Если превышение составляет не более 40—50% высоты, необходимой для наполнения ковша, то целесообразно уменьшить толщину стружки и производить копание по всей высоте забоя, иначе при разработке верхней части забоя ковш не будет наполняться. Если высота забоя превышает в 1,8 раза и более высоту, необходимую для наполнения ковша, а грунт при подкапывании снизу не обваливается, то следует сначала разработать верхнюю часть забоя на глубину 2—3 стружек, затем нижнюю, затем снова верхнюю и т. д. При таком способе работ продолжительность цикла лопаты уменьшается.

Разработка забоя ведется последовательно по дуге окружности. При работе на транспорт во время погрузки разрабатывают ближайшую к транспортным приборам часть забоя, чтобы уменьшить угол поворота экскаватора; при смене транспортных приборов у экскаватора разрабатывают наиболее удаленную часть забоя.

Экскаватор должен быть установлен горизонтально или с небольшим (1—2°) наклоном в сторону разгрузки. В пределах забоя транспортные пути должны быть горизонтальны или иметь небольшой уклон в направлении перемещения грунта. Весьма важно поддерживать дорогу у забоя в хорошем состоянии, так как задержка в подаче машин под погрузку является одной из частых причин простоев экскаватора.

Поворот ковша к месту разгрузки. По окончании копания начинается поворот ковша на разгрузку, до начала которого ковш должен быть выведен из соприкосновения с грунтом; при этом рукояти дают обратный ход, ковш выходит из соприкосновения с грунтом, и резание прекращается. Затем включают поворотный механизм, и ковш со стрелой и рукоятью поворачивается к месту разгрузки. В целях уменьшения инерции вращающихся частей целесообразно рукоять во время поворота убирать «на себя». Скорость движения ковша во время поворота значительно превосходит скорость копания. Торможение начинается до того, как ковш достигает места разгрузки. Одновременно с поворотом производится подъем ковша в вертикальном направлении с тем, чтобы к концу поворота он уже находился на уровне, допускающем разгрузку в транспортные приборы.

Так как время, затрачиваемое на оба поворота, составляет основную часть времени цикла экскаватора, то механик для повышения производительности экскаватора должен выбрать режим поворота, обеспечивающий наименьшую его длительность. В этих целях нужно, кроме того, уменьшать угол поворота на разгрузку. Небольшой наклон экскаватора в сторону транспорта (2—3°) несколько сокращает время поворота на разгрузку.

Разгрузка ковша. Когда ковш достигает места разгрузки (рис. 91, положение *V*), машинист открывает днище ковша, и последний разгружается. Во избежание повреждения транспортных приборов, ковш должен быть подан к месту разгрузки на такой высоте, чтобы между низом открытого днища

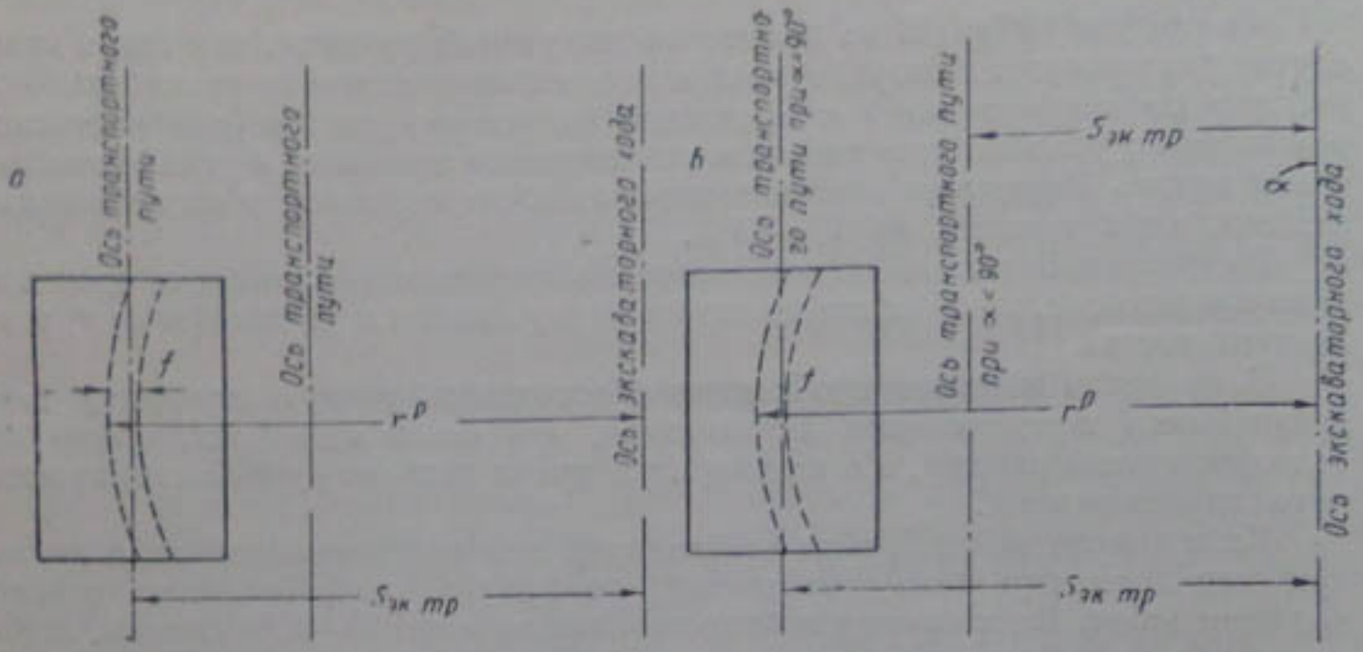


Рис. 92. Взаимное расположение экскаваторной и транспортной осей при разных углах поворота экскаватора на разгрузку:
а—угол α=90°; б—угол α < 90°.

и бортами платформы или автомашины оставался достаточный зазор (примерно 0,2—0,3 *м*). Оставлять слишком большой зазор не следует, во избежание больших ударов падающего грунта о дно.

Для облегчения и ускорения разгрузки ось разгрузочных путей располагают несколько ближе к экскаватору на величину f—стрелки хорды дуги—между крайними точками разгрузки ковшей на платформе (рис. 92, *а*). Для ширококолейных составов величину f можно брать около 0,5 *м*, а для узкоколейных около 0,25 *м*. Расстояние между осью экскаваторного хода и осью транспортных путей $S_{эк.тр}$ при угле поворота стрелы в 90° будет:

$$S_{эк.\ тр} f r^р - f, \qquad (60)$$

где $r^р$ — радиус разгрузки.

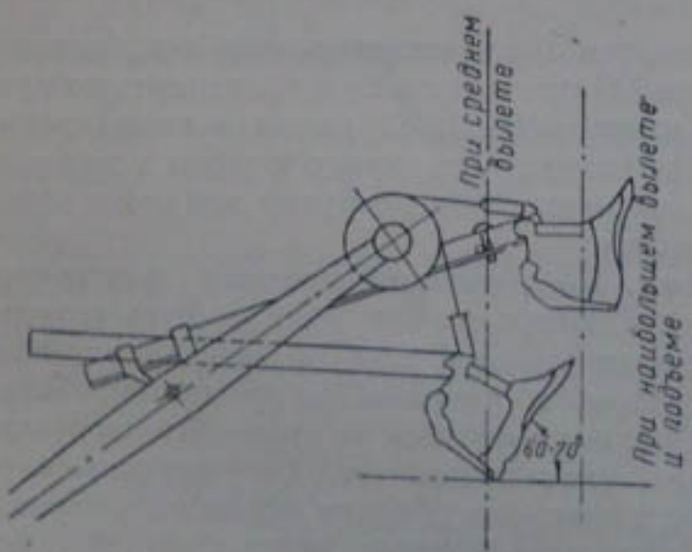


Рис. 93. Положение ковша экскаватора Э-505 при выгрузке на среднем и наибольшем подъеме рукояти.

Для уменьшения угла поворота экскаватора на разгрузку расстояние между осью транспортного пути и осью экскаваторного $S_{эк.тр}$ должно быть сокращено (рис. 92,*б*). В этом случае:

$$S_{эк.\ тр} = r \sin \alpha. \qquad (60а)$$

При работе в липких грунтах ковш, даже при полном открытии днища, опоражнивается лишь частично. Для опорожнения ковша приходится несколько раз его встряхивать, что делается короткими, но быстрыми движениями днища взад и вперед. Однако это существенно увеличивает время разгрузки и уменьшает производительность экскаватора.

Выгрузка налипающих грунтов производится обычно на наибольшем подъеме рукояти, когда передняя стенка ковша вертикальна (рис. 93).

При неполностью вытянутой рукояти передняя стенка ковша составляет не более 60—70° к вертикали, что затрудняет разгрузку.

Обратный поворот и опускание ковша. При окончании разгрузки ковша пускают в ход поворотную машину, и порожний ковш начинает поворачиваться в обратную сторону; одновременно с поворотом, в целях уменьшения инерции вращающихся частей, набирают рукоять «на себя» и опускают ковш для возвращения его в исходное положение. При повороте одновременно работают все три машины, если экскаватор имеет таковые для регулирования каждого из движений, или все три передачи при одномоторном приводе.

Ковш может опускаться со скоростью, почти равной скорости свободного падения. При опускании ковша днище автоматически, силой тяжести, закрывается; ковш ставится в исходное положение, и все описанные выше операции повторяются снова.

Во время указанных операций рукоять и стрела механической лопаты подвергаются значительным сжимающим, скручивающим и изгибающим усилиям; они работают в условиях переменного режима и динамических нагрузок. Поэтому стрелу приходится изготовлять в виде достаточно жесткой балки значительного веса; это же определяет сравнительно небольшую длину стрел. В связи с этим механические лопаты, кроме ЭГЛ-15, работают почти исключительно на транспорт.

Передвижки. Экскаватор, закончивший разработку грунта на полную длину рукояти, для возможности дальнейшей работы должен быть передвинут на следующую стоянку. Так как наиболее трудно вести разработку на вытянутой рукояти (это вызывает наибольшее напряжение в работе механика, уменьшение напорного усилия и увеличение времени цикла), то рациональнее работать на коротких передвижках и при неполном вылете рукояти.

До начала передвижки должна быть подготовлена горизонтальная площадка под новую стоянку экскаватора, что выполняется ковшом этого же экскаватора.

Передвижка лопат на гусеничном ходу по нормам должна занимать от 2 до 4 минут, в зависимости от характера разрабатываемого грунта. При выработке ровной поверхности забоя это время может быть сокращено; передовые экскаваторщики заботливо подготовляют дно забоя для передвижки экскаватора, затрачивая на нее от 15 до 45 секунд. На Волгодонстрое экскаваторы передвигались после использования длины рукояти на 75% и занимали 30—40 *сек.* В слабых грунтах, когда под экскаватор приходится укладывать настил, переставлять отдельные его звенья и откапывать просевшие звенья, время на передвижку экскаваторов на гусеничном ходу возрастет до 5—10 минут и более.

На отрывке котлована при строительстве Волжской ГЭС имени Ленина в качестве настила под экскаваторы успешно применяли щиты из шпунтин, подкладываемые под экскаватор СЭ-3.

При работе ниже уровня грунтовых вод большое влияние на длительность передвижки оказывает степень осушки разрабатываемого участка выемки. Если водопонижение и отвод поступающей в забой воды не обеспечены, то передвижка в разжиженных грунтах весьма усложняется и затягивается.

§ 4. ДРАГЛАЙНЫ И ИХ РАБОТА

Драглайн является основным видом одноковшовых экскаваторов, применяемых на мелиоративных работах. Особенности драглайна (рис. 94), по сравнению с механической лопатой, следующие: 1) отсутствие рукояти и напорной машины, 2) наличие ковша особой формы, 3) гибкая подвеска ковша на стреле посредством подъемного каната, 4) гибкая передача ковшу усилия для копания грунта посредством тягового каната.

Ковш, открытый спереди и сверху, имеет продолговатую форму. Он состоит из днища с 4—6 сменными зубьями из марганцовистой стали, двух боковых и задней стенок.

Задняя стенка наглухо соединена с днищем и боковыми стенками, и разгрузка производится опрокидыванием ковша вперед. Для увеличения жесткости боковые стенки в передней их части соединены друг с другом массивной стальной аркой. Ковш *1* подвешен к обойме *9* на двух подъемных цепях *6*, присоединенных шарнирно на ушках к боковым стенкам в задней их части; цепи раздвинуты коромыслом, предохраняющим их от трения о боковые стенки. Обойма *9* подвешена к подъемному канату *3*, закрепленному одним концом на обойме и вторым—на подъемном барабане главной лебедки и проходящему через блок *11* в голове стрелы *2*.

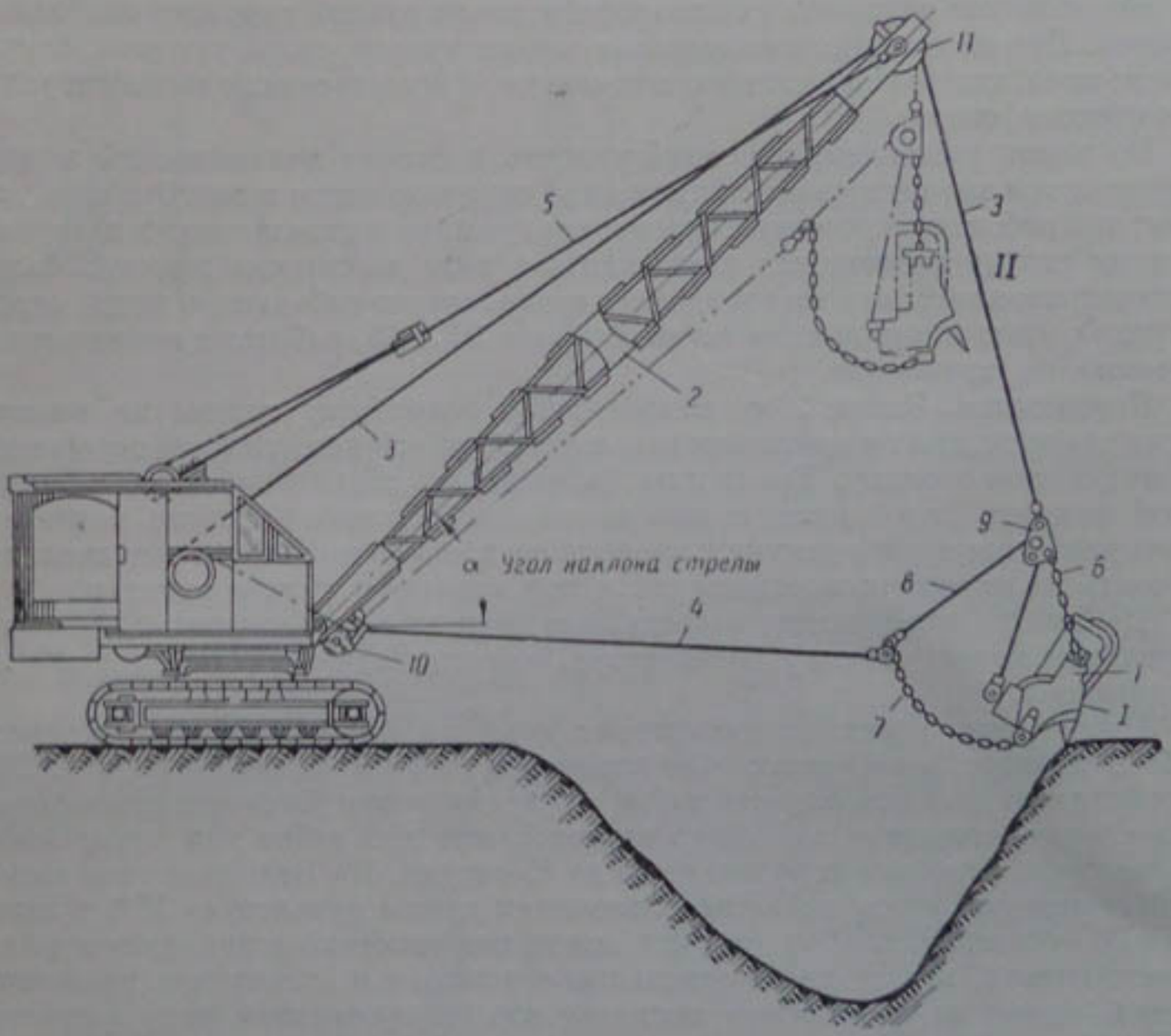


Рис. 94. Драглайн:

1—ковш; *2*—стрела; *3*—подъемный канат; *4*—тяговый канат; *5*—стреловый канат; *6* и *7*—цепи; *8*—разгрузочный канат; *9*—обойма; *10*—направляющие ролики; *11*—блок в голове стрелы.

Точки подвеса и ушки, на которых подвешен ковш, находятся между центром тяжести ковша и задней стенкой; поэтому, если ковш подвешен только к подъемному канату, то он опрокидывается и грунт из него высыпается.

Наполнение ковша производится подтягиванием его к экскаватору тяговым канатом *4*, который прикреплен к барабану главной лебедки и проходит через направляющие ролики *10*, укрепленные у пяты стрелы.

Перед ковшом тяговый канат разделяется на две ветви. Одна из них—нижняя, состоящая из двух коротких цепей *7*, присоединенных в передней части боковых стенок ковша, перемещает его, передавая ему тяговое усилие лебедки. Верхняя ветвь *8* (разгрузочная) проходит через блок обоймы *9* и прикреплена наверху в середине передней части ковша. Благодаря такому устройству при натяжении тягового каната нижняя ветвь тянет ковш к экскаватору, в результате чего ковш наполняется. Если тяговый канат отпустить, то поднятый ковш, не удерживаемый больше разгрузочным канатом *8*, начинает вращаться около шарниров задних цепей и опрокидывается.

Так как наполнение ковша производится подтягиванием его к экскаватору, то и работа происходит спокойно, без рывков. Стрела экскаватора работает в гораздо более легких условиях, чем стрела механической лопаты, что позволяет делать ее более легкой конструкции и более длинной, обычно в виде решетчатых ферм.

Стрелы иногда делают составными по длине, что позволяет ставить на один и тот же экскаватор, в зависимости от условий работы, стрелы разной длины.

Во время работы экскаватор стоит наверху разрабатываемой выемки и работает «под собой», «на себя», причем двигается назад от забоя (торцовая разработка) или идет сбоку забоя (боковая разработка).

Разработка грунта экскаватором-драглайном состоит из ряда операций.

Копание грунта. В начальной операции ковш, опущенный на землю, занимает положение *I* (рис. 94). Ковш наполняется при подтягивании его к экскаватору тяговым канатом и ослабленном подъемном канате.

Максимальное усилие на зубьях ковша, реализуемое в процессе копания, определяется весом ковша в начале копания и весом ковша с грунтом в конце копания; вес ковша должен соответствовать характеру грунта. Чрезмерно легкий ковш будет недостаточно врезаться в грунт, а слишком тяжелый будет наполняться на длине хода, равной 2—3 длинам ковша. За это время подъемный канат лишь незначительно отклонится от вертикали, а при отрыве ковша от грунта разгрузочный канат не будет достаточно натянут, вследствие этого сначала будет подниматься задняя часть ковша и из него в начале подъема вывалится часть грунта, что недопустимо.

Поднимать ковш следует при достаточно натянутом разгрузочном канате, причем сначала поднимается передняя кромка ковша и грунт из него не высыпается. Для осуществления этого нужно регулировать длину разгрузочного каната и подбирать вес ковшей таким образом, чтобы наполнение ковша происходило на длине хода, равной примерно четырем длинам ковша в легких грунтах, пяти длинам—в средних и шести длинам—в тяжелых грунтах. Регулировать длину хода ковша при его наполнении можно также креплением тяговых цепей в верхних или нижних проушинах. Крепление к нижней проушине применяют, чтобы уменьшить толщину стружки и удлинить ход наполнения ковша; крепление к верхней проушине ведет к утолщению стружки и сокращению хода[1]. Когда ковш наполнится, следует сейчас же начать его подъем, чтобы не удлинять время цикла экскаватора на излишнее протаскивание ковша. Кроме того, если не поднять уже наполненного ковша, то перед ним образуется вал, в который будет погружаться тяговый канат, что будет сопровождаться усиленным его износом. Чтобы предотвратить перемещение экскаватора во время копания, что может возникнуть из-за больших усилий тягового каната, под гусеницы насыпают землю или подкладывают шпалы.

Подъем ковша и поворот его к месту разгрузки. После наполнения ковша начинается его подъем. Для этого подъемный канат наматывают на подъемный барабан лебедки, а тяговый канат одновременно наматывают на тяговый барабан. Эти операции ведутся таким образом, чтобы днище ковша для предотвращения высыпания грунта во время подъема и поворота было наклонено к горизонту под углом 15—20°. Разгрузочный канат при этом должен быть все время натянут. Ковш поднимается на высоту, необходимую для возможности разгрузки. Последняя определяется высотой отвалов или транспортных приборов. Одновременно с подъемом ковша стрелу поворачивают к месту разгрузки.

Разгрузка и обратный поворот. Когда стрела повернется к месту разгрузки, отпускают тяговый канат, разгрузочный канат перестает поддерживать ковш, и он, повиснув только на подъемном канате, опрокидывается,

---

[1] И. Г. Домбровский. Повышение производительности одноковшовых экскаваторов. Стройиздат, М., 1951.

а грунт из него высыпается (рис. 94, положение *II*). Затем экскаватор поворачивается в исходное положение, подъемный канат быстро стравливается, и ковш падает на землю, врезаясь зубьями в грунт. После этого все операции повторяют.

При указанном способе работы радиус резания, измеряемый от оси вращения экскаватора до оси главного ролика стрелы, равен радиусу разгрузки.

Иногда, для увеличения радиусов резания, работают с закидкой ковша. В этом случае ковш после разгрузки подтягивается к стрелке экскаватора, причем тяговый канат вытягивается почти вдоль стрелы. После этого экскаватор поворачивается, тяговый канат быстро отпускается, и ковш под влиянием центробежной силы, возникающей при быстром повороте экскаватора, забрасывается вперед (рис. 94, положение *I*). При работе с забросом радиус резания можно увеличить на 15—20%; однако это может делать лишь опытный машинист. По некоторым данным практики работа с забросом не всегда эффективна и сопровождается удлинением времени цикла.

Драглайны могут разрабатывать грунт на значительную глубину ниже своей стоянки: до 8—12 *м*—для моделей с ковшом до 1,5 $м^3$ и до 26—45 *м*—для экскаваторов ЭШ. Это —крупное их достоинство по сравнению с механическими лопатами, разрабатывающими грунт в основном только выше уровня стоянки.

Сфера влияния драглайнов в горизонтальном направлении (сумма радиусов резания и разгрузки) в 2—3 раза больше, чем у механических лопат. Таким образом, драглайны можно шире использовать для бестранспортной работы в отвал, что значительно дешевле разработки грунта с отвозкой его на транспортных приборах.

Однако драглайном можно разрабатывать преимущественно легкие и средние грунты.

Цикл работы драглайнов длиннее цикла механической лопаты той же марки; это ведет к понижению производительности экскаватора и повышению стоимости разработки.

При работе в отвалы (кавальеры) высота их получается значительной (несколько метров). Так как драглайн разрабатывает выемку за один прием, то кавальер отсыпается сразу на всю высоту, что не отвечает, например, техническим условиям постройки дамб, которые нужно насыпать слоями в 0,20—0,35 *м* с последующей укаткой. Разработка же выемок последовательными слоями связана с частыми перестановками экскаватора. Новейшие кулачковые катки Д-220 весом 35 *т* уплотняют слой в 0,50—0,80 *м*, что расширяет возможность разработки драглайнами выемок с укладкой в дамбы и уплотнением их.

Для обеспечения полной загрузки ковша требуется движение его снизу вверх, поэтому работа драглайна выше уровня его стоянки мало производительна.

§ 5. СМЕННОЕ ЗАХВАТНО-ЧЕЛЮСТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ (ГРЕЙФЕР) И ЕГО РАБОТА

Сменное оборудование—грейфер (рис. 95) монтируется на базе драглайна: 1) специальным устройством ковша с раскрывающимися челюстями, приспособленного к захвату грунта на месте падения ковша; 2) наличием специального привода для закрывания и открывания челюстей ковша; 3) отсутствием тягового каната для подтягивания ковша к экскаватору; 4) наличием смыкающего каната, регулирующего закрывание и открывание челюстей, оттяжного каната для предотвращения вращения ковша.

При перемонтаже драглайна заменяют ковш на грейфер и делают перенасовку канатов, причем основные части экскаватора (ходовое и силовое оборудование, рама, стрела, поворотное устройство) сохраняются без изменений.

Грейфер выполнен из двух челюстей *1*, соединенных центральным шарниром *5*. Каждая челюсть шарнирно подвешена на тягах *6* к верхнему шарниру *7*, в состав которого входит обойма с блоками, присоединяемая к подъемному канату. Подъем и опускание грейфера, а также открывание и закрывание челюстей производится подтягиванием и отпусканием двух канатов: подъемного *3* и смыкающего *4*. Смыкающий канат проходит по блокам верхнего шарнира, по блоку центрального шарнира и через направляющий блок в голове стрелы идет к первому барабану лебедки.

При выбирании смыкающего каната *4* происходит сближение центрального и верхнего шарниров и смыкание челюстей. Наоборот, при отпускании

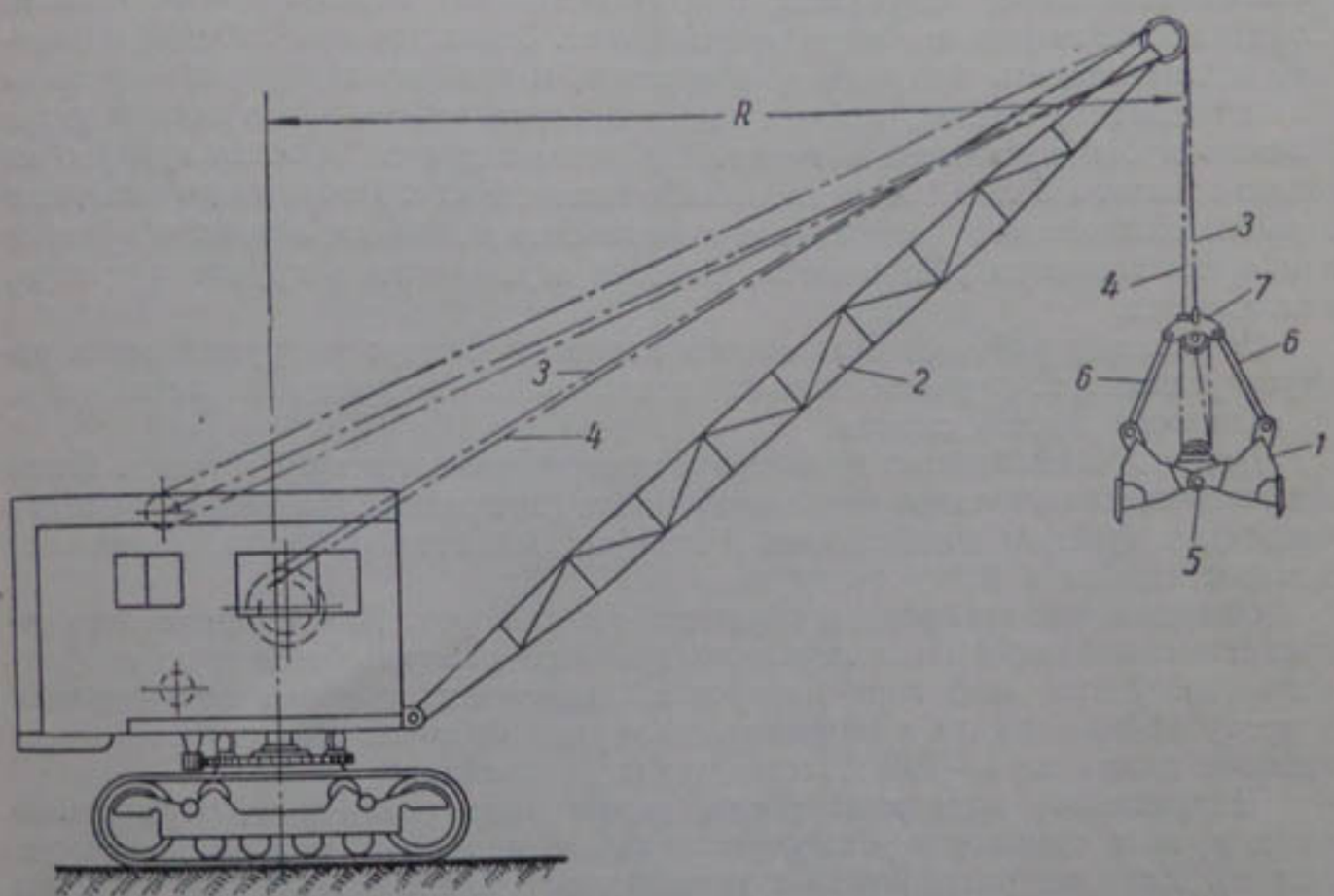


Рис. 95. Схема грейферного экскаватора:
1—челюсти грейфера; *2*—стрела; *3* и *4*—подъемный и смыкающий канаты; *5*—центральный шарнир; *6*—тяги; *7*—верхний шарнир.

его верхний шарнир под влиянием собственного веса опускается и происходит размыкание челюстей. Подъемный канат *3*, к которому через крюк подвешен грейфер, идет через направляющий блок в голове стрелы ко второму подъемному барабану лебедки.

Каждая челюсть представляет собой четверть цилиндра; в закрытом состоянии обе челюсти образуют полуцилиндр, открытый сверху.

Режущие кромки усиливают козырьками или сменными зубьями, причем при сближении челюстей зубья одной челюсти входят между зубьями другой, что обеспечивает плотное закрывание ковша.

Если разрабатывается тяжелый грунт, для резания которого требуется значительное усилие, то смыкающий трос, через который передается это усилие, должен быть натянут сильнее, чем при работе в легких грунтах. Если величина необходимого захватного усилия будет недостаточна для подъема всего грейфера, то он закроется в грунте и заполнится; если же захватное усилие, необходимое для резания грунта и закрытия грейфера, будет достаточно велико, чтобы поднять центральный шарнир и подтянуть его вверх, то замыкание произойдет над землей и ковш не заполнится. Поэтому для резания тяжелых грунтов применяют более тяжелые грейферы. При весе около 1 *т* на 1 *м*³ емкости грейферы считаются легкими, а при весе более 2 *т* на 1 *м*³ емкости—тяжелыми.

Чтобы грейфер не вращался во время подъема, а подъемный и смыкающий канаты не закручивались, к грейферу прикреплен вспомогательный оттяжной канат *3* (рис. 81, *б*).

Грейферные экскаваторы предназначены для работы в сыпучих грунтах: песок, супесь, неслежавшийся гравий, в торфяных, илистых и других нетяжелых грунтах.

Цикл работы экскаватора состоит из следующих операций: 1) набор грунта; 2) подъем наполненного ковша и поворот его к месту разгрузки; 3) опорожнение ковша и 4) обратный поворот.

Набор грунта. Грейфер устанавливают над местом набора грунта, а смыкающий канат ослабляют; при этом челюсти под действием тяжести обоймы центрального шарнира открываются. Затем тормоза лебедок подъемного и смыкающего канатов освобождают, и грейфер с раскрытыми челюстями падает на землю, причем под действием собственного веса и удара о землю зубья врезаются в грунт. Не рекомендуется бросать грейфер на землю с высоты более 1 *м* во избежание поломки тяг. После этого включают барабан смыкающего каната, под действием натяжения которого верхний и нижний шарниры сближаются, челюсти зарываются в грунте и грейфер наполняется.

Экскаватор работает без заброса ковша, и радиус выгрузки равен радиусу резания, т. е. расстоянию от вертикальной оси вращения экскаватора до головного ролика стрелы.

Подъем наполненного грейфера и поворот его к месту разгрузки. После наполнения натягивается подъемный канат (при неослабленном смыкающем канате), и грейфер поднимается. Когда он выходит из грунта, начинается поворот стрелы к месту разгрузки.

Опорожнение грейфера и обратный его поворот. Для опорожнения отпускают смыкающий канат, челюсти грейфера раскрываются и он опорожнивается. Затем включают поворотный механизм, грейфер возвращается к месту набора грунта и начинается следующий цикл. Продолжительность времени цикла на 5—10% больше цикла драглайна.

Направление хода экскаватора может быть различным. При работе ниже уровня стоянки он отступает от забоя (например, при разборке перемычек). Если он разрабатывает грунт выше уровня стоянки, то движется вперед, как и прямая лопата.

Грейферный экскаватор может работать в узких местах, где невозможно использование ни драглайна, ни механической лопаты. Поэтому он может быть применен, например, при разборке перемычек, отрывке опускных колодцев и т. д. Минимальная ширина разрабатываемой выемки определяется шириной раскрытия челюстей, изменяющейся от 1,5 до 2,5 *м*, в зависимости от емкости ковша. Разгружать грейфер также можно и выше и ниже уровня стоянки. Грейферным экскаватором можно разрабатывать подводные выемки, а при постановке на плаву его можно применить, например, для работ по регулированию и очистке водоприемников осушительных систем; его с успехом используют при перегрузке сыпучих материалов, например песка и гравия.

§ 6. СМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ—ОБРАТНАЯ ЛОПАТА

Обратная лопата (рис. 96) во время работы стоит наверху забоя и разрабатывает выемку подтягиванием ковша «на себя»—снизу вверх. В отличие от драглайна гибкая связь ковша со стрелой заменена в обратной лопате жесткой рукоятью.

Рукоять *2* шарнирно соединена со стрелой *1* в голове последней и может вращаться в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси.

Рукоять выполнена в виде неравноплечего рычага, к верхнему короткому концу которого присоединен подъемный канат *6*, проходящий через ролик в голове дополнительной стойки *8* к подъемному барабану главной

лебедки; длина короткого плеча может изменяться перестановкой болта, прикрепляющего ролик. К концу длинного плеча рычага на шарнире прикреплен ковш *3*, а примерно в середине плеча на болтах прикреплены раскосы *9*, соединенные с задним краем ковша. Перестановкой болтов в одно из отверстий раскосов можно изменять угол резания в зависимости от категории грунта.

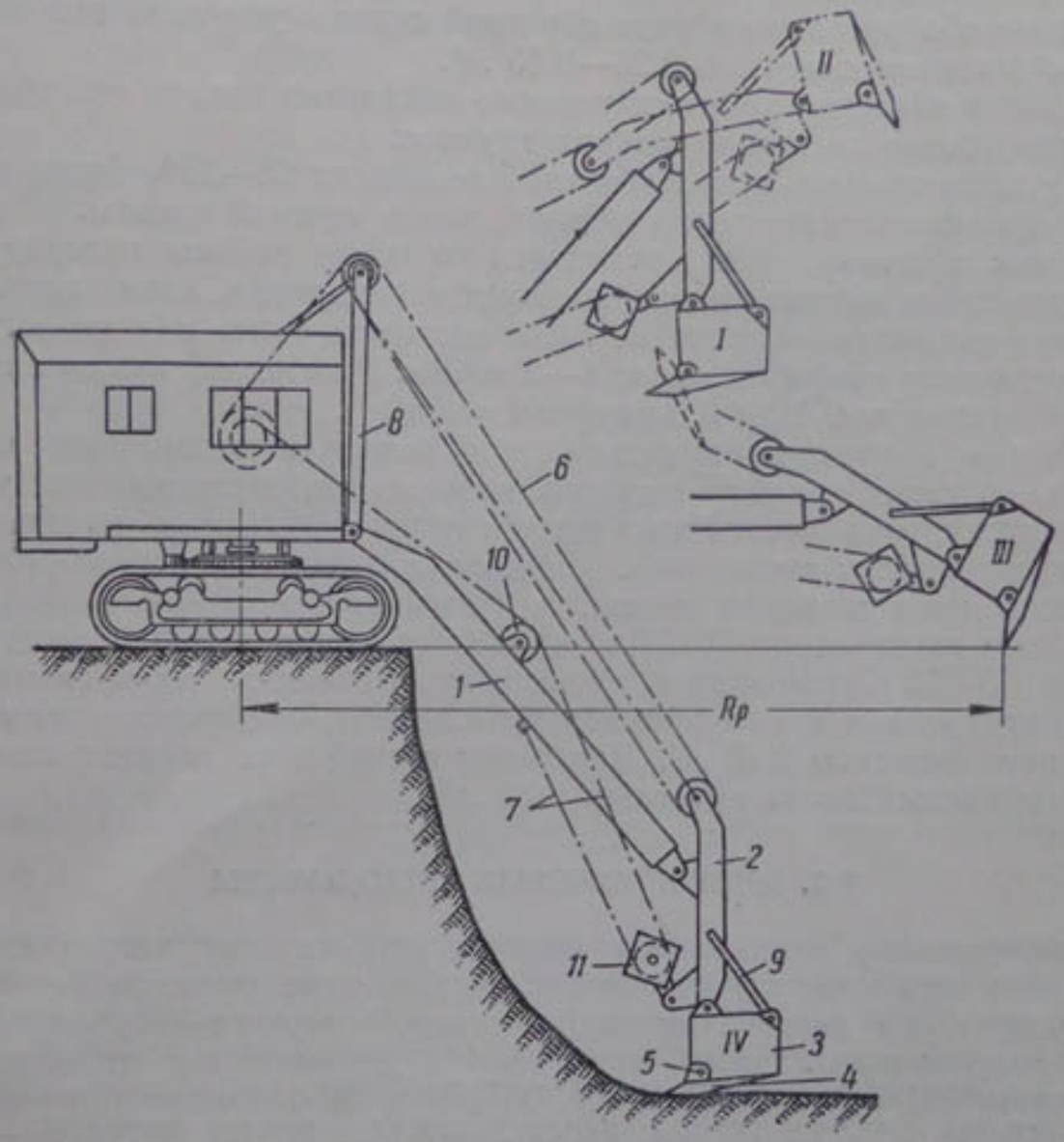


Рис. 96. Схема обратной лопаты:

I—положение ковша в начале разгрузки; *II*—то же, в конце разгрузки; *III*—то же, опущенного до соприкосновения с грунтом; *IV*—то же, при резании. *1*—стрела; *2*—рукоять; *3*—ковш; *4*—днище, поворачивающееся вокруг шарнира при опорожнении ковша; *5*—шарнир; *6* и *7*—подъемный и тяговый канаты; *8*—стойка; *9*—расносы; *10*—ролики; *11*—обойма ковшового блока.

Стрела *1* шарнирно присоединена к пяте и может вращаться около горизонтальной оси, что позволяет ей опускаться при резании грунта и подниматься при выгрузке. В отличие от механической лопаты и драглайна стрела обратной лопаты изменяется во время работы, изменяет угол наклона к горизонту в результате натяжения подъемного каната.

Напорной машины обратная лопата не имеет и ковш подтягивается к экскаватору специальным тяговым канатом *7*. Лезвия и зубья ковша во время работы направлены к экскаватору. Стрела и рукоять изготовляются в виде балок со сплошными стенками, но более легкой конструкции, чем в механической лопате.

Тяговый канат *7*, закрепленный одним концом на тяговом барабане главной лебедки, проходит через ролики *10* на стреле к обойме *11* ковшового блока и закрепляется вторым концом на стреле.

Ковш имеет форму, уширенную к передней части, что делается для уменьшения трения ковша о грунт при разработке узких траншей. Ковш

представляет собой клепаную или сварную (преимущественно) коробку с зубьями из марганцовистой стали; он имеет откидное днище, поворачивающееся относительно шарнира *5* после открывания пружиной защелки специальным канатом под действием собственного веса и веса грунта. Захлопывание днища пружинной защелкой происходит автоматически при ударе днища о скос защелки при врезании зубьев в грунт или при затормаживании поворачивающейся рукояти.

Сменное оборудование в виде обратной лопаты устраивается на экскаваторах с ковшами емкостью 0,25—0,65 $м^3$.

Так как в обратной лопате напорного механизма нет, то она приспособлена к разработке легких и средних грунтов.

Продолжительность цикла обратной лопаты на 15—25% больше, а производительность соответственно меньше, чем у прямой лопаты.

Так как обратная лопата находится во время работы наверху забоя, то передвижка ее обычно не встречает тех затруднений, какие встречаются при работе механической лопаты. Если местность более или менее ровная, то на передвижку требуется около 1—2 минут. Расстояние между передвижками изменяется от 0,4 до 0,5 глубины забоя.

Обратные лопаты применяются для рытья осушительных каналов, глубоких, но узких траншей с отвесными стенками, например для укладки водопроводных, канализационных и дренажных труб, рытья ленточных фундаментов, неширокого котлованов. Минимальная ширина отрываемых траншей определяется шириной ковша.

На базе экскаватора Э-257 в настоящее время серийно выпускается экскаватор Э-352 с уширенными гусеницами. Основным видом сменного рабочего оборудования его служит обратная лопата, снабженная прямоугольным ковшом емкостью 0,25 $м^3$. Для работ в торфяных грунтах экскаватор имеет профильный ковш емкостью 0,35 $м^3$.

§ 7. МНОГОКОВШОВЫЕ ЭКСКАВАТОРЫ

Многоковшовые экскаваторы предназначаются для поперечного или продольного черпания; в экскаваторах первого типа движение ковшей перпендикулярно оси разрабатываемой выемки, а второго—параллельно ей.

На гидромелиоративном строительстве применяются многоковшовые экскаваторы: ЭМ-182, ЭМ-302, Э-201, ЭМ-502 и ЭМ-161 с поперечным черпанием и ЭТ-251, ЭТ-252, ЭТ-351, ЭТ-352, ЭТ-141, ЭТ-121, ЭТУ-353—с продольным черпанием (буква М обозначает, что экскаватор многоковшовый, а буква Т—траншейный). Кроме того, изготовляются роторные траншейные экскаваторы ЭР-4 и ЭР-5 (вместо ранее выпускавшихся ЭР-2 и ЭР-3).

Многоковшовый экскаватор ЭМ-302 с верхним и нижним черпанием на железнодорожном ходу (рис. 97) снабжен 40 или 34 ковшами емкостью по 30 *л*, движущимися со скоростью 0,5 *м/сек*; мощность электродвигателя 51,5 *квт*, вес экскаватора 22,6 *т*, длина ковшовой рамы с планирующим звеном 12 *м*, наибольшая высота и глубина черпания 8,5 *м*. Конструктивная производительность 45 $м^3/час$. Экскаваторы ЭМ-302 и ЭМ-301 широко применялись при планировке откосов и земляных работах на Волгодонстрое.

Многочерпаковые экскаваторы поперечного черпания непрерывно передвигаются во время работы вдоль разрабатываемой выемки, а ковшовая цепь и ковши движутся поперек выемки. В начале работы ковшовая рама опускается в положение, близкое к горизонтальному, причем ковши врезаются в грунт на 15—20 *см*. В этом положении экскаватор проходит весь разрабатываемый участок и срезает первый слой грунта. Затем рама опускается в положение, соответствующее разработке второго слоя, экскаватор возвращается к началу участка и снимает второй слой. При последующих проходах наклон рамы и глубину разработки выемки увеличивают до тех пор, пока выемка не будет сделана на полную глубину, или пока рама не будет повернута до своего предельного положения. После этого пути, по которым пере-

двигается экскаватор, перемещают от откоса забоя и экскаватор при своих дальнейших проходках расширяет выемку.

Эти экскаваторы приспособлены для разработки выемок со значительным удельным объемом, главным образом в легких и средних грунтах, не содержащих валунов.

Экскаватор поперечного черпания на железнодорожном ходу Э-201 имеет 31 ковш емкостью по 20 *л* каждый; максимальная глубина копания 7 *м*, максимальная высота копания 6 *м*; вес машины 10,7 *т*, ее производительность около 40 *м*³/*час*.

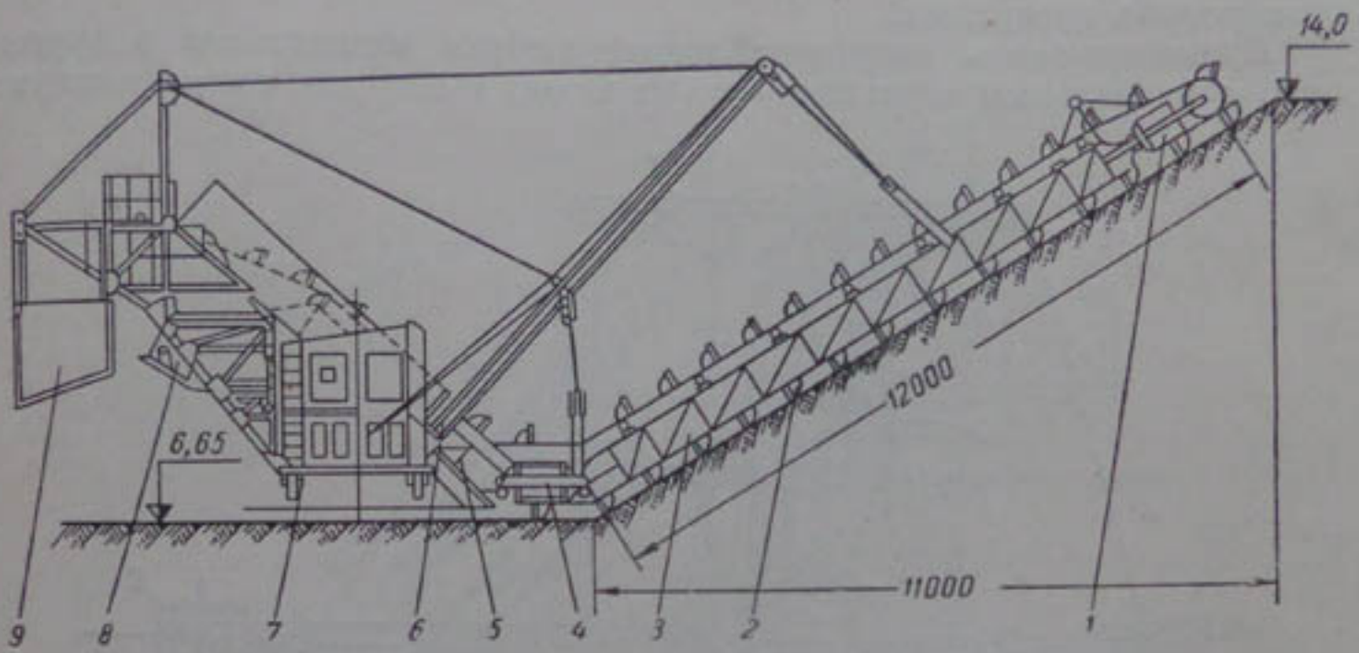


Рис. 97. Экскаватор ЭМ-302:

1—внешнее планирующее звено; *2*—ковшовая цепь с ковшами; *3*—подвижное звено ковшовой рамы; *4*—внутреннее планирующее звено; *5*—неподвижное звено ковшовой рамы; *6*—укосина; *7*—кузов; *8*—бункер; *9*—противовес.

Экскаватор ЭМ-502 является специальной машиной для рытья и очистки оросительных каналов (рис. 98); он состоит из главной *1* и вспомогательной *2* гусениц, соединенных между собой телескопической трубчатой рамой *3*, позволяющей изменять расстояние между гусеницами от 1,7 до 7 *м*. Внутри труб рамы расположен телескопический вал, при помощи которого приводится в движение вспомогательная гусеница.

Основные механизмы и силовая установка смонтированы на раме *4*, опирающейся на главную гусеницу. На раму установлена стойка *5*, к которой подвешены ковшовая рама *6* и транспортер *7* длиной *3 м* с лентой шириной 650 *мм*. Ковшовая рама одной стороной прикреплена к ползуну, перемещающемуся по вертикальной стойке, а другой стороной подвешена на канатах к укосине *8*.

Рабочая длина ковшовой рамы у модернизированной модели экскаватора 5,5 *м*, число ковшей 13, емкость их по 50 *л*. Планирующее звено, асимметрично посаженное на конец ковшовой рамы *6*, также телескопическое; оно может поворачиваться относительно ковшовой рамы на 150° и переставляться на 180°. При огибании верхнего барабана черпаки опрокидываются и грунт высыпается в бункер или в отвал.

Производительность экскаватора 26—28 *м*³/*час*; он может разрабатывать и очищать каналы глубиной от 1,16 до 2,5 *м*, шириной по верху от 3,38 до 5,6 *м*, минимальной шириной по дну 0,56 *м* с откосами не круче одиночных.

Многоковшовый экскаватор ЭМ-161 аналогичен по своему устройству экскаватору ЭМ-502; он имеет меньшую мощность и размеры и может очищать или отрывать мелкие каналы глубиной от 0,65 до 1,5 *м*, шириной по верху от 2,5 до 3,5 *м*, минимальной шириной по дну 0,4 *м*, с откосами от 1 : 0,25 до 1 : 1.

Экскаваторы Э-502 и ЭМ-161 обеспечивают хорошее качество откосов, не требующих дополнительной планировки. Однако эти машины имеют ряд существенных недостатков: они могут работать только в легких и средних грунтах, без включения камней, пней или погребенной древесины; они меньше подходят для отрывки оросительных каналов, большая часть объема которых проходит в насыпи, так как они сбрасывают грунт в одну сторону и должны обязательно иметь со стороны транспортера берму шириной 3 *м*. Экскаваторы не могут производить очистку каналов заросших растительностью без предварительной срезки ее. В настоящее время выпуск этих экскаваторов прекращен.

Промышленность выпускает многоковшовые экскаваторы и другого типа, с продольным черпанием—траншейные, в которых ковши движутся

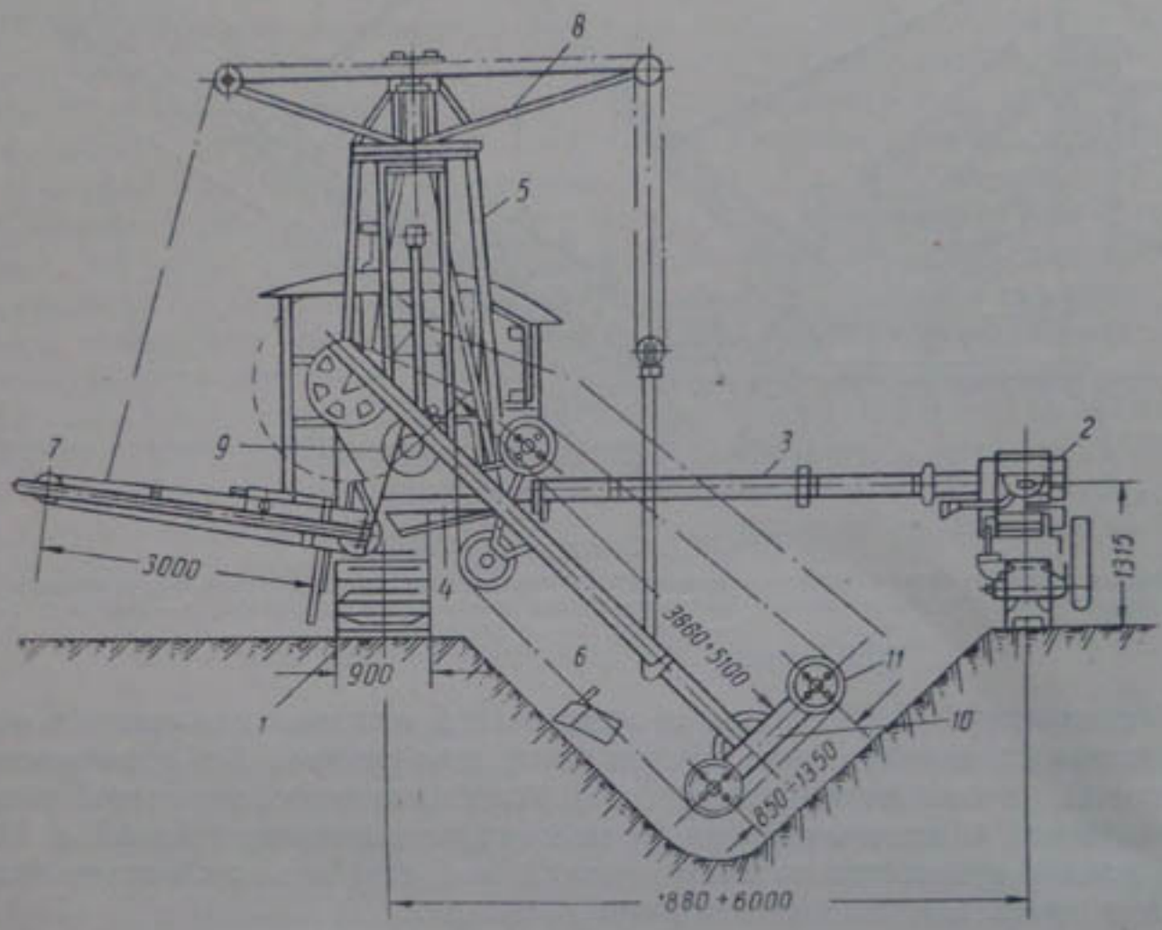


Рис. 98. Многочерпаковый экскаватор ЭМ-502:
1, *2*—главная и вспомогательная гусеницы; *3*—телескопическая рама; *4*—основная рама; *5*—передвижная стойка; *6*—ковшовая рама; *7*—транспортер; *8*—укосина; *9*—приводная звездочка ковшовой цепи; *10*—планирующее звено; *11*—блоки.

вдоль разрабатываемой выемки и отрывают траншею определенной ширины и глубины. Подобного рода экскаваторы называются иногда канавокопателями; их применяют для рытья траншей под укладку дренажа, водопроводных и канализационных труб и пр. При наличии наклонных боковых фрез многоковшовые экскаваторы с продольным черпанием могут отрывать оросительные и осушительные канавы.

Экскаватор ЭТ с продольным черпанием (рис. 99) на гусеничном ходу *1* состоит из рамы *2*, сменной ковшовой рамы *3*, ковшовой цепи с ковшами *4*, отвального транспортера *5*, управления для перемещения ковшовой рамы *6* и силового оборудования *7*. Механик управляет экскаватором из кабины *8*, помещенной под навесом *9*. Экскаватор может отрывать траншеи с вертикальными стенками глубиной от 1,2 до 3,5 *м*, шириной от 0,43 до 1,5 *м* без уширителей и 1,8 *м* с уширителями.

В последнее время вместо траншейных экскаваторов типа ЭТ нашей промышленностью выпускается универсальный траншейный экскаватор ЭТУ-353. В отличие от ранее выпускавшихся траншейных экскаваторов

ЭТУ-353 имеет сменное оборудование, с помощью которого можно отрывать траншеи с вертикальными пологими или ступенчатыми откосами.

При рытье траншей в слабых грунтах, в которых нельзя получить устойчивых вертикальных откосов, к ковшовой раме монтируются поперечные шнеки разной длины, с помощью которых траншея уширяется на разной высоте; разработанный грунт забирается со дна траншеи ковшами и передается на отвальный транспортер. Число шнеков устанавливается в зависимости от глубины разрабатываемой траншеи: при глубине 2,5 *м*—три шнека, при глубине 3,5 *м* четыре шнека.

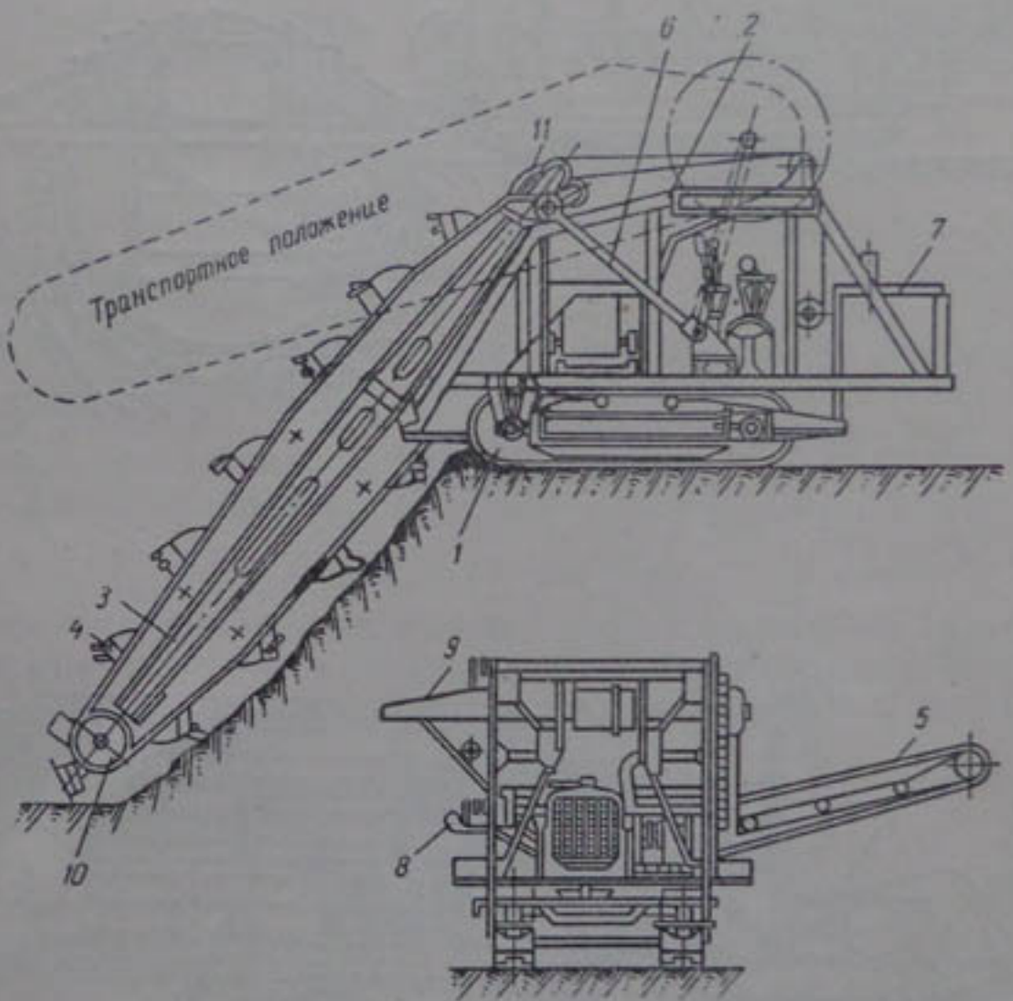


Рис. 99. Многоковшовый экскаватор ЭТ:

1—гусеничный ход; *2*—рама; *3*—сменная ковшовая рама; *4*—ковшовая цепь с ковшами; *5*—отвальный транспортер; *6*—управление для перемещения ковшовой рамы; *7*—силовое оборудование; *8*—кабина; *9*—навес; *10* и *11*—нижний и верхний барабаны.

Глубина траншей, разрабатываемых экскаватором ЭТУ-353, от 0,75 *м* (при рытье кюветов) до 2,5—3,5 *м*; ширина траншей с вертикальными стенками от 0,8 до 1,1 *м* и со ступенчатыми—по низу от 0,8 до 1,1 *м* и по верху—3,2 *м*. Для разработки кюветов с пологими откосами на экскаватор навешивается специальное рабочее оборудование.

Колесно-ковшовые (роторные) экскаваторы ЭР-4, ЭР-5 предназначаются для отрывки прямоугольных траншей, глубиной от 1,8 до 2,2 *м*, шириной от 0,9 до 1,2 *м*.

Особенность экскаватора ЭР-4, выпущенного вместо экскаваторов ЭР-2 и ЭР-3, состоит в рабочем органе, устанавливаемом на полуприцепе к трактору С-80. Такая система обеспечила изготовление экскаватора без переделок трактора С-80.

Дальнейшая работа над конструкцией экскаватора ЭР-4 привела к созданию многомоторного дизель-электрического колесного экскаватора ЭР-5 (рис. 100). Он может отрывать прямоугольные траншеи глубиной до 2,2 *м* и шириной в 1,2 *м*. Диаметр колеса (ротора) 3,7 *м*, ковши емкостью по 40 *л*, число их 32, двигатель 150 *л. с.*, вес экскаватора в рабочем состоянии 24,7 *т*,

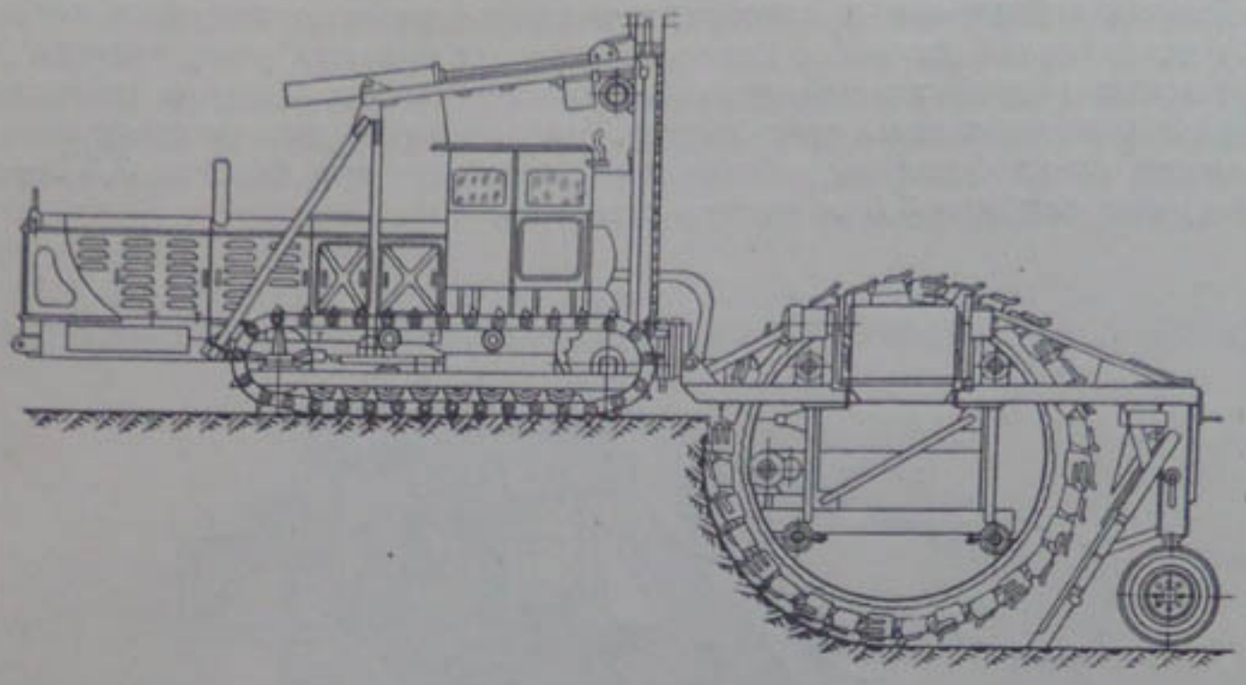


Рис. 100. Экскаватор ЭР-5.

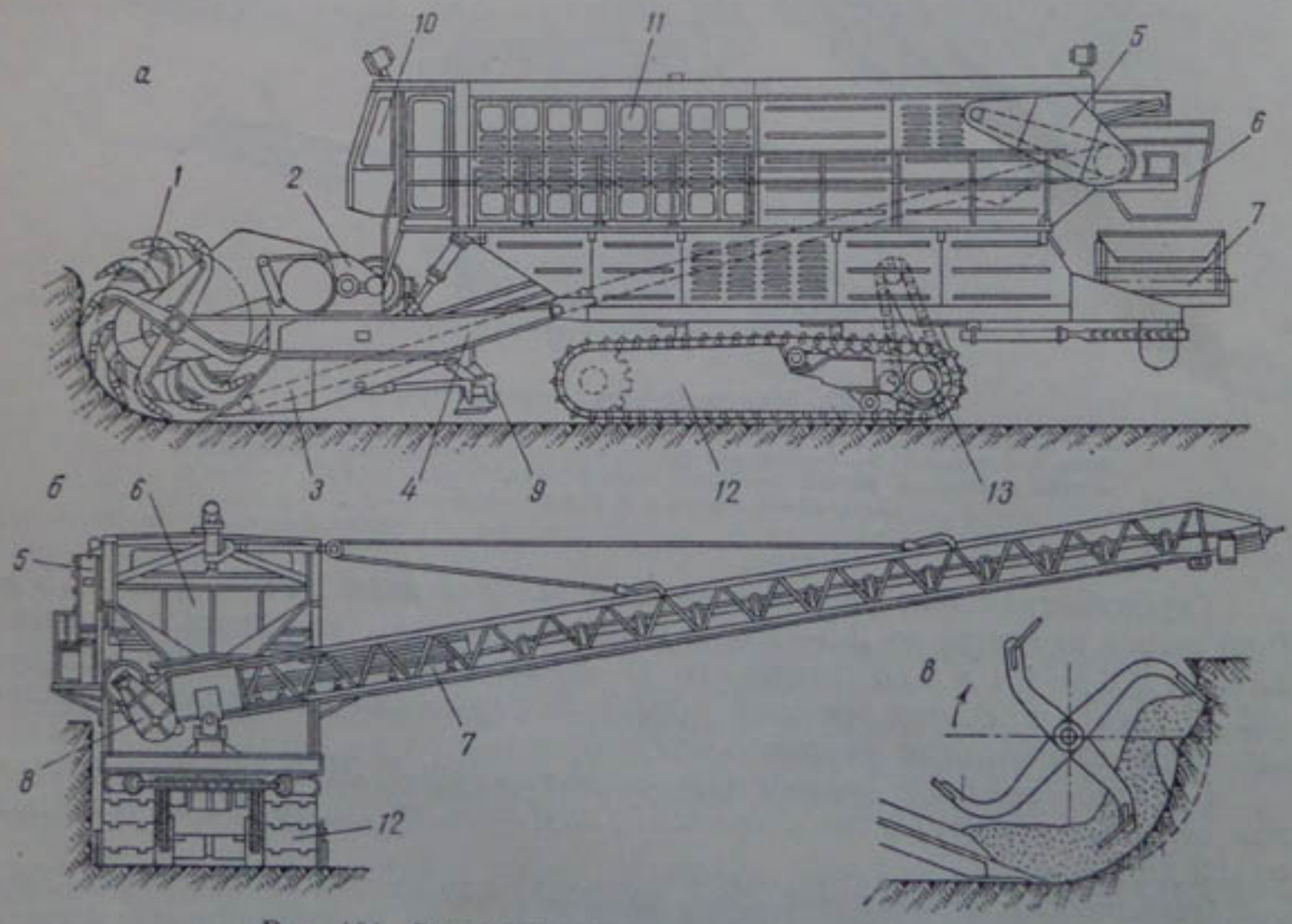


Рис. 101. Землеройно-фрезерная машина ЭФМ-3000:

а—вид сбоку; *б*—вид сзади; *в*—схема работы фрезы: *1*—рабочий орган—фреза; *2*—привод рабочего органа; *3*—совок; *4*—приемные продольные транспортеры; *5*—привод приемных транспортеров; *6*—перегрузочная воронка; *7*—выдающий поворотный транспортер; *8*—привод выдающего транспортера; *9*—плужки; *10*—кабина; *11*—машинное отделение; *12*—гусеничный ход; *13*—привод гусеничного хода.

наибольшая производительность в плотном теле до 500 $м^3/час$, среднее удельное давление на грунт 0,8 $кг/см^2$.

В заключение необходимо указать на землеройно-фрезерную машину ЗФМ-3000, изготовленную Воронежским экскаваторным заводом имени Коминтерна, которая в 1959 г. проходила испытания на канале Днепр—Кривой Рог (рис. 101). Производительность машины в несвязных и слабосвязных грунтах до 300 $м^3/час$ и в суглинках и глинах 1000—1500 $м^3/час$. Общая мощность силовой дизель-электрической установки 600 $л.\ с.$; вес машины 92 $т$; удельное давление на грунт во время работы 1,25 $кг/см^2$; рабочая скорость 260—520 $м/час$.

Разработка грунта ведется машиной непрерывно, одновременно с перемещением и отвалом грунта.

§ 8. ЦИКЛ РАБОТЫ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Время полного цикла работы экскаватора зависит от его конструкции и объема ковша, от рода и состояния грунта, угла поворота и высоты забоя. Время цикла экскаватора оказывает большое влияние на его производительность; для механических лопат оно изменяется, в зависимости от категории и состояния грунта, угла поворота (70—180°) и емкости ковша (0,35—2,5 $м^3$), от 10,6 до 55,3 $сек$, для лопат с ковшом 3 $м^3$—от 16,2 до 39,8 $сек$, а для драглайнов—от 12,5 до 74,2 $сек$.

Время цикла экскаватора определяется по формуле:

$$t_ц = t_{наб} + t_{пов} + t_р, \qquad (61)$$

где $t_{наб}$ — время набора грунта в ковш при наполнении его за один раз;

$t_{пов}$ — время поворота и подъема нагруженного ковша к месту разгрузки и обратного поворота порожнего ковша с опусканием его на дно забоя;

$t_р$ — время разгрузки ковша.

Для механических лопат в среднем:

$$t_{наб} = 0{,}33t_ц;\ t_{пов} = 0{,}60t_ц;\ t_р = 0{,}07t_ц.$$

Для драглайнов-экскаваторов в среднем:

$$t_{наб} = 0{,}36t_ц;\ t_{пов} = 0{,}60t_ц;\ t_р = 0{,}04t_ц.$$

Указанные зависимости справедливы для таких экскаваторов, у которых дополнительные движения (например, вынос и подъем ковша на разгрузку, опускание ковша в забой) совмещаются с соответствующими основными движениями—поворотом на выгрузку и в забой. Не все экскаваторы удовлетворяют условию совмещения дополнительных движений с основными; затрата времени из-за несогласованности рабочих движений достигает 20%.

Советским инженерам принадлежит приоритет в теоретическом обосновании этого вопроса. Первыми машинами, удовлетворяющими требованиям полного совмещения дополнительных операций с основными, были экскаватор Ковровского завода с ковшом емкостью 0,5 $м^3$ (1946 г.) и экскаватор СЭ-3 с ковшом емкостью 3 $м^3$ (1947 г.). В новых моделях советских экскаваторов оказалось возможным увеличить скорость рабочих движений, что обеспечило значительное сокращение $t_ц$; благодаря этому теоретическая производительность отечественных машин на 12—24% выше, чем у лучших американских моделей[1].

Если забой низкий и для наполнения ковша нужно применить два черпания, то $t_ц = 2t_{наб} + t_{пов} + t_р$. Можно в этом случае и не делать вторичного черпания, но тогда придется работать при неполном ковше, при $K_{нап} < 1$. В обоих случаях производительность экскаваторов уменьшается, поэтому

---

[1] Н. Г. Домбровский. Повышение производительности одноковшовых экскаваторов. Стройиздат, М., 1951.

возникает вопрос, выгодно ли второе черпание или работа с неполным ковшом. Двукратное черпание характеризуется временем цикла механической лопаты $1{,}33\,t_{\text{ц}}$ и $K_{\text{нап}}=1$, а однократное—временем цикла $t_{\text{ц}}$ и $K_{\text{нап}}<1$.

Следовательно:

$$\frac{t_{\text{ц}}}{1{,}33t_{\text{ц}}}=\frac{K'_{\text{нап}}}{K_{\text{нап}}}, \qquad (62)$$

откуда $K'_{\text{нап}}=0{,}75$. С учетом некоторого высыпания грунта из ковша при вторичном черпании последнее делается выгодным при несколько меньших значениях $K_{\text{нап}}$ при однократном черпании ($K_{\text{нап}}=0{,}60$). Значительное влияние на время цикла оказывает угол поворота экскаватора.

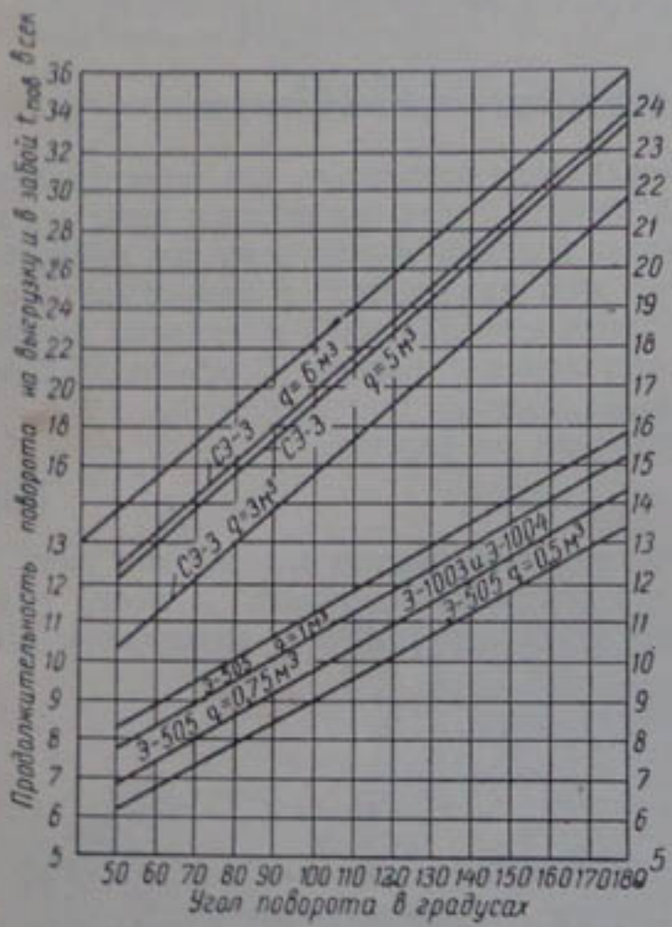


Рис. 102. Зависимость между продолжительностью поворота механических лопат и величиной угла поворота.

На сокращение времени цикла экскаватора влияют также: 1) совмещение отдельных операций; подъем ковша и поворот к выгрузке, обратный подъем и опускание ковша; 2) отсутствие излишних рабочих движений, подъем ковша на высоту не более необходимой для разгрузки, опускание ковша в заранее намеченную точку набора; 3) наиболее рациональный характер разгона при повороте; 4) состояние экскаватора, влияющее на скорость его рабочих движений; 5) квалификация, опытность и ловкость экскаваторного механика.

Работа экскаваторного механика тяжела и происходит в непрерывно меняющихся условиях, при значительном количестве операций за время цикла: от 1500 до 5400 включений в час—для машин малой мощности, от 900 до 2500—для машин средней и от 500 до 1200 включений—для экскаваторов большой мощности. Поэтому квалификация и сноровка механика приобретают большое значение.

Вследствие значительного влияния $t_{\text{пов}}$ на $t_{\text{ц}}$ и на производительность экскаватора необходимо при разбивке выемок на забой максимально уменьшать средний угол поворота для выгрузки, избегая в то же время резания и разгрузки на полном радиусе и высоте. Современные отечественные экскаваторы имеют достаточно мощные поворотные механизмы и уже при углах поворота 60—70° достигаются максимальные скорости поворота. При особо благоприятных условиях для увязки времени поворотного движения с временем подъема ковша (разгрузка на средней высоте при забоях малой и средней высоты, а также разгрузка на высоте, близкой к максимальной, при забоях высотой не ниже высоты напорного вала) рационально уменьшать угол поворота до 45—50°.

На графике (рис. 102) показана зависимость между временем поворота механических лопат на выгрузку и в забой и углом поворота при работе на транспорт, а в таблице 9 —время цикла $t_{\text{ц}}$ при разных углах поворота лопат и погрузке на транспорт в грунтах разных категорий.

Рассмотрение графика и таблицы 9 показывает: 1) значительное увеличение времени цикла при увеличении угла поворота; 2) сильное влияние качества взрывных работ на время цикла; 3) значительно меньшее увели-

Таблица 9

Продолжительность цикла $t_ц$ в секундах механических лопат при углах поворота 70, 135 и 180° при погрузке на транспорт

Модель экскаватора	Емкость ковша в м³	Категория грунта														
		I			II			III			IV			V и VI (взорванные)		
		Угол поворота в градусах														
		70	135	180	70	135	180	70	135	180	70	135	180	70	135	180
Э-505; Э-504	0,5	10,6 / 11,4	14,2 / 15,0	16,7 / 17,5	11,8 / 12,7	15,4 / 16,3	17,9 / 18,8	13,4 / 14,9	17,0 / 18,5	19,5 / 21,0	15,4 / 16,4	19,0 / 20,0	21,5 / 22,5	14,9 / 24,5	18,5 / 28,1	21,0 / 30,6
	0,75	12,2 / 13,3	15,8 / 16,9	18,3 / 19,4	14,0 / 15,5	17,6 / 19,1	20,1 / 21,6	16,9 / 19,4	20,5 / 23,0	23,0 / 25,5	18,2 / 19,3	21,8 / 22,9	24,3 / 25,4	18,7 / 30,2	22,3 / 33,8	24,7 / 36,3
	1,0	14,3 / 15,9	17,9 / 19,5	20,4 / 22,0	17,2 / 18,9	20,8 / 22,5	23,3 / 25,0	19,3 / 20,6	22,9 / 24,2	25,4 / 26,7	19,2 / 20,5	22,8 / 24,1	25,3 / 26,6	20,5 / 31,4	24,1 / 35,0	26,6 / 37,5
Э-1003; Э-1004	1,0	12,0 / 13,1	16,6 / 17,7	19,8 / 20,9	14,1 / 15,2	18,7 / 19,8	21,9 / 23,0	17,1 / 19,3	21,7 / 23,9	24,9 / 27,1	18,9 / 20,2	23,6 / 24,8	26,9 / 28,0	19,5 / 32,0	24,1 / 36,6	27,3 / 39,8
СЭ-3	3,0	16,2 / 17,3	22,0 / 23,1	26,0 / 27,1	17,4 / 18,5	23,2 / 24,3	27,2 / 28,3	19,6 / 21,7	25,4 / 27,5	29,4 / 31,5	22,0 / 24,0	27,8 / 29,8	31,8 / 33,8	21,9 / 30,0	27,7 / 35,8	31,7 / 39,8
	5,0	19,2 / 20,8	25,0 / 26,6	29,0 / 30,6	21,4 / 22,8	27,2 / 28,6	31,2 / 32,6	25,2 / 28,4	31,0 / 34,2	35,0 / 38,2	27,0 / 28,5	32,8 / 34,3	36,8 / 38,3	28,5 / 35,0	34,3 / 40,8	38,3 / 44,8
	6,0	19,9 / 21,6	25,7 / 27,4	29,7 / 31,4	22,7 / 24,5	28,5 / 30,3	32,5 / 34,3	27,1 / 28,9	32,9 / 34,7	36,9 / 38,7	27,2 / 28,7	33,0 / 34,5	37,0 / 38,5	28,7 / 35,1	34,5 / 40,9	38,5 / 44,9

Примечания. 1. Над чертой показаны $t_ц$ при разработке грунтов нормальной влажности, а под чертой—грунтов переувлажненных.
2. В последних трех графах над чертой показаны $t_ц$ для хорошо взорванных пород, а под чертой—для плохо взорванных пород.

чение $t_ц$ по сравнению с изменением объема ковша при работе с ковшами повышенной емкости; это означает более быстрое повышение производительности экскаватора при сменных ковшах повышенной емкости, чем увеличение $t_ц$; 4) бóльшие значения $t_ц$ у старой модели механической лопаты с ковшом емкостью 0,5 $м^3$ (ЛК-0,5А) по сравнению с моделями Э-502 и Э-505; 5) увеличение времени цикла $t_ц$ механических лопат с увеличением емкости ковша, за исключением экскаватора Э-752, для которого $t_ц$ больше, чем для лопат Э-1003 и Э-1004.

Полную возможность перевыполнения указанных норм $t_ц$ показывают передовые механики. Так, при работе с углом поворота 70—90° тов. Кущов на механической лопате с ковшом емкостью 0,75 $м^3$ добился продолжительности цикла $t_ц = 14{,}9$ *сек*, а тов. Сосед на экскаваторе СЭ-3 в скальном грунте работал с $t_ц = 10$ *сек*.

Снижение времени цикла работы экскаваторов может быть достигнуто также увеличением толщины стружки, с чем связано укорочение траектории резания и времени набора. Для осуществления этого нужно выдвигать рукоять лишь на часть ее длины, работать с короткими передвижками — 0,3—0,4 длины хода рукояти лопаты и 0,1—1,2 длины стрелы драглайна. При выдвижении рукояти на полную длину увеличивается составляющая подъемного усилия, направленная на рукояти в обратном направлении к напорному усилию и уменьшающая его значение; кроме того, по мере выдвижения рукояти увеличивается плечо и момент рукояти и ковша относительно напорного вала. Наконец, при работе на полном вылете и высоте механику приходится вести работу более осторожно, чтобы избежать ударов блоков ковша о ролик стрелы и упора рукояти в седловой подшипник, в результате чего $t_ц$ увеличивается.

Работа на полном вылете и высоте (по Н. Г. Домбровскому) для большинства моделей, кроме СЭ-3 и ЭГЛ-15, уменьшает производительность при угле поворота 70° на 20—22% в грунтах I категории и на 10—15% в грунтах III категории.

Так как органы управления не приводят мгновенно в движение рабочие механизмы, следует частично совмещать конец одной операции с началом другой. Хотя экономия во времени на каждом включении выражается при этом только в десятых долях секунды, но наличие 10—12 включений в одном цикле позволяет сократить $t_ц$ на 1,1—2 *сек*, чему соответствует сокращение $t_ц$ на 10—15%. Показателем правильной работы является непрерывное движение рабочих органов, а также отсутствие значительного ослабления и провисания канатов[1]. Возможность экономии во времени при совмещении отдельных операций цикла подтверждается работой передовых механиков-экскаваторщиков.

Уменьшение угла поворота механических лопат при работе их на транспорт сопровождается сближением осей экскаваторного и транспортного ходов; поэтому минимальный угол поворота стрелы механической лопаты может быть определен по габаритной ширине экскаватора и транспортных приборов с оставлением между ними необходимого расстояния.

Практическая польза от уменьшения угла поворота учтена передовыми механиками, широко использующими сокращенные углы поворота для повышения производительности экскаваторов.

Анализ и учет влияния угла поворота экскаватора на время цикла указывают следующие пути повышения производительности экскаватора: уменьшение ширины забоя для уменьшения угла поворота и связанного с этим уменьшением $t_ц$; 2) повышение скоростей рабочих движений, прежде всего при поворотах обычных полноповоротных экскаваторов; 3) бесповоротная (в процессе цикла) экскавация с передвижным бункером, соединенным с экскаватором.

---

[1] Н. Г. Домбровский. Повышение производительности одноковшовых экскаваторов. Стройиздат, М., 1951.

§ 9. ЗАБОИ МЕХАНИЧЕСКИХ ЛОПАТ

Параметры механических лопат, типы забоев. Экскаватор за одну проходку вдоль выемки обычно не может разработать ее на всю ширину и глубину; он может вынуть только такую часть поперечного профиля, какую позволяют размеры его рабочих органов. З а б о е м экскаватора называют прямолинейную, по возможности, траншею, разрабатываемую экскаватором за одну проходку. Забой является рабочим местом экскаватора и для успешного производства работ должна быть обеспечена правильная его организация; она состоит в надлежащем осушении забоя, подготовке дороги для отвозки грунта, в придании забою такого поперечного профиля, который обеспечил бы возможность погрузки разрабатываемого грунта в транспортные приборы.

Поперечные размеры забоя определяются по рабочим параметрам экскаватора. К ним относятся (рис. 91): 1) минимальный радиус резания на уровне стоянки $R^{р}_{з\ мин}$; 2) радиус резания на уровне $R_з$; 3) радиус резания на высоте 2,5 *м* $R^{р}_{2,5\ мин}$; 4) наибольший радиус резания $R^{р}_{макс}$; 5) радиус резания при наибольшей высоте $R^{р}_{макс.в}$; 6) высота резания при наибольшем радиусе $H^{р}_{макс.р}$; 7) наибольшая высота резания.

По параметрам экскаватора, приводимым в справочниках, можно вычертить криволинейную поверхность, описываемую ковшом при наборе грунта.

Для определения в плане и в высотном отношении места разгрузки необходимо знать: 1) радиус разгрузки при наибольшей высоте $r_{макс.в}$; 2) наибольший радиус разгрузки $r_{макс}$; 3) наибольшую высоту разгрузки $h_{макс}$; 4) высоту разгрузки при наибольшем радиусе разгрузки $h_{макс.р}$.

Отметим следующие особенности измерений: 1) все размеры даются от вертикальной оси вращения механической лопаты; 2) радиусы резания измеряются до конца зубьев, а радиусы разгрузки—до центра тяжести ковша; поэтому радиусы резания больше соответствующих радиусов разгрузки; 3) высота резания считается от уровня земли до конца зубьев ковша, а высота разгрузки до низа откинутого днища; поэтому высота резания больше соответствующей высоты разгрузки; 4) с уменьшением угла наклона стрелы к горизонту увеличиваются R и r, но уменьшаются H и h. Угол наклона стрелы к горизонту должен выбираться в зависимости от характера забоя и расположения транспортных путей.

По способу погрузки различают забои с погрузкой на транспортные приборы, расположенные выше уровня стоянки экскаватора,—с т у п е н ч а т ы е з а б о и (рис. 103, *а*) и на уровне его стоянки—я р у с н ы е з а б о и (рис. 103, *б*). Различают также забои с погрузкой в транспортные приборы, находящиеся в соседнем с разрабатываемым забое, и забои с погрузкой на транспортные приборы, находящиеся в разрабатываемом забое.

Высота забоев. Нормальной высотой забоя $H_{з.нор}$ следует считать такую высоту, при которой достигается заполнение ковша при одном черпании.

Так как в разных грунтах толщина снимаемой экскаватором стружки различна (в рыхлых грунтах она больше, чем в плотных), то и нормальная высота забоев зависит от рода разрабатываемого грунта и емкости ковша.

Сравнение значений $H_{з.нор}$ с параметрами H разных экскаваторов показывает, что $H_{з.нор} < H_{макс}$ и $H_{макс.р}$ для всех отечественных марок механических лопат, даже при наименьших углах наклона стрелы к горизонту, для грунтов всех категорий, т. е. при $H_{макс}$ и $H_{макс.р}$ обеспечивается заполнение ковша при однократном черпании.

Если исходить из условий разработки забоя без нависающих козырьков (связные грунты), то при разбивке забоев в грунтах III—IV категорий следует назначать высоту забоев

$$H_{нор} = H_{макс.\ р} \cdot H_{з.\ нор} = H_{макс.\ р}.$$

И. Г. Домбровский указывает, что все новые модели механических лопат, кроме Э-1003 и Э-1004 , при нормальных ковшах могут работать с максимальным наполнением в грунтах IV категории в забоях высотой немного более половины высоты напорного вала.

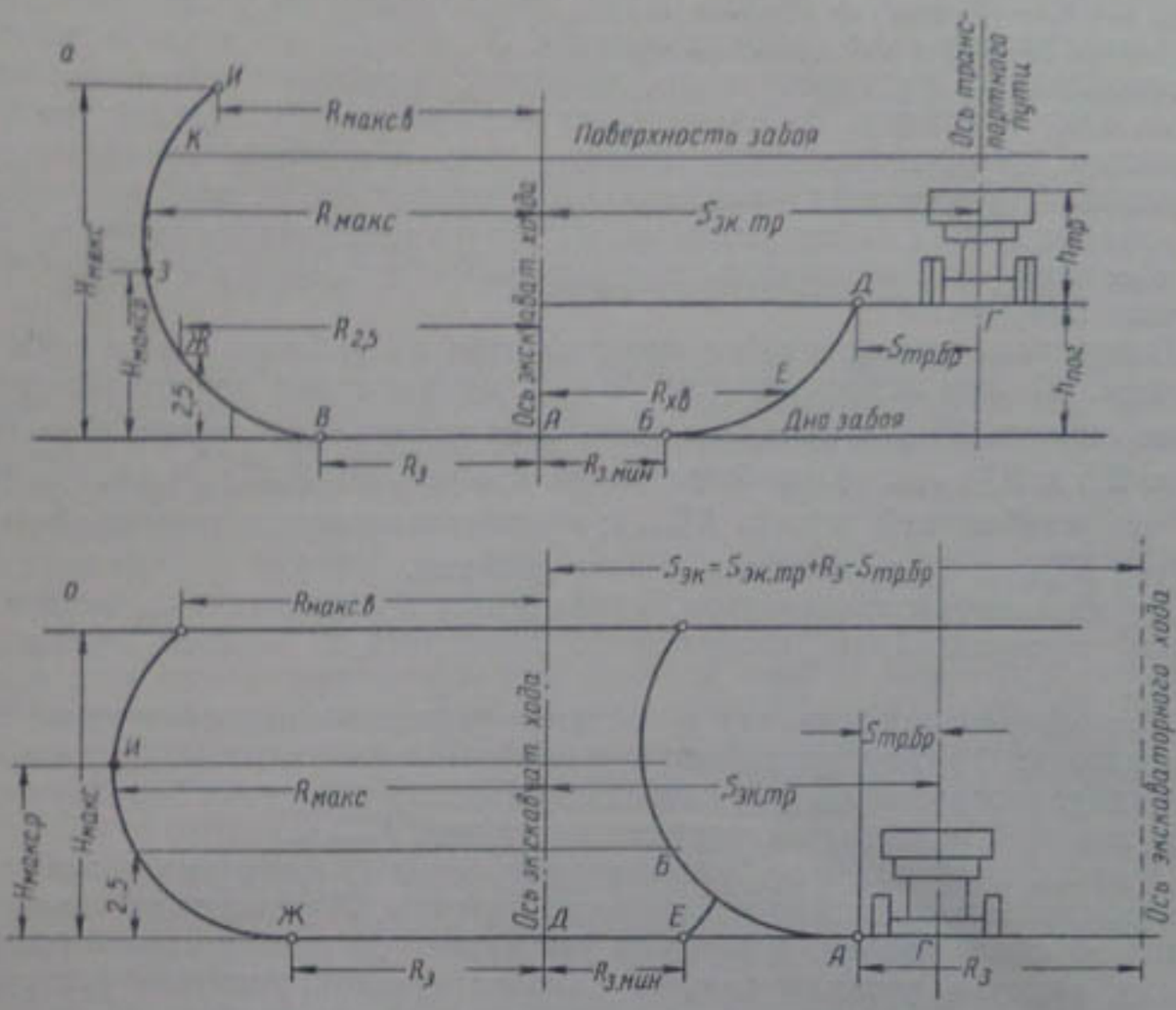


Рис. 103. Построение забоев механической лопаты:
а—ступенчатого; б—пруспого.

Данные о высоте забоя $H_з$ по Домбровскому, необходимой для максимального наполнения ковша механической лопаты, приведены в таблице 10.

Увеличение наполнения ковша, а следовательно, и понижение высоты забоя может быть достигнуто в результате улучшения формы и конструкции ковша.

Таблица 10

Высота забоя $H_з$ в м, необходимая для максимального наполнения ковша лопат

Модель экскаватора	Емкость ковша в м³	Категория грунта											
		I		II		III			IV			V и VI взорванные	
		нормальные	влажные	нормальные	влажные	нормальные	влажные	илистые	нормальные	влажные	илистые	хорошо	плохо
Э-505; Э-504	0,50	0,81	0,90	1,39	1,44	2,18	2,38	1,81	3,17	3,17	2,71	2,47	3,00
	0,75	1,27	1,52	2,18	2,44	3,54	4,20	2,74	4,65	5,50	4,10	3,94	5,44
	1,00	1,96	2,32	3,28	3,70	5,60	6,60	4,35	7,55	9,00	6,70	6,50	9,25
Э-1003; Э-1004	1,00	1,50	1,65	2,58	2,68	3,95	4,40	3,42	5,72	5,88	5,32	4,57	5,94
СЭ-3	3,00	1,32	1,44	2,25	2,38	3,56	3,95	3,14	5,28	5,55	5,03	4,20	5,85
	5,00	2,14	2,57	3,70	4,10	6,00	7,10	5,40	8,70	9,90	8,50	7,45	10,40
	6,00	2,50	2,96	4,44	5,10	7,15	8,40	6,10	10,20	11,50	10,10	9,20	13,00

В большинстве плотных, но не слишком тяжелых грунтов выгодно применять ковш с плоской выступающей передней стенкой, с крайними зубьями, максимально приближенными к боковым стенкам и со средними зубьями, несколько выдвинутыми вперед; это позволит увеличить нагрузку, передаваемую на них при врезании ковша, и смягчить резкое возрастание усилий при начале врезания. Однако при вязких грунтах и большом выступе передней кромки ковша вперед и вверх образуется значительное налипание грунта в ковше.

При разработке очень твердых грунтов выгодно, чтобы средние зубья ковша выступали вперед и вверх больше, чем боковые зубья, что обеспечивает лучшее разрушение грунта.

При разработке песчаных влажных грунтов значительный выступ передней стенки вперед и вверх существенно увеличивает объем грунта, захватываемого ковшом.

Наполнение ковша зависит также и от его формы. Для грунтов, разрыхляемых взрывами и образующих в забое осыпь с углом откоса 35—40°, целесообразны широкие, низкие и короткие ковши с закругленной передней стенкой, так как они быстрее наполняются. При разработке очень легких грунтов, в которых ковш может срезать толстую стружку, целесообразны ковши такой же формы, но увеличенной емкости. Для разработки средних и плотных однородных грунтов, особенно глинистых, целесообразно применять длинные и узкие ковши.

Как показано выше, вопрос о высоте забоя для данной механической лопаты зависит не только от конструкции экскаватора, но и от конструкции и формы ковша, от длины передвижек, определяющей угол между направлением подъемного каната и рукоятью и усилие вдоль рукояти, направленное против напорного усилия.

Максимальной высотой забоя $H_з$ можно считать высоту, равную $H_{макс}$. Рыхлые, сыпучие грунты будут во время резания тотчас же обсыпаться и затем подбираться экскаватором при следующем черпании. Поэтому в таких грунтах наибольшая высота забоя может быть назначена равной $H_{макс}$ и даже несколько выше. При открытых разработках малосвязных пород в карьерах полезных ископаемых считают возможным принимать

$$H_{з.\,пор} = H_{макс} + (1{,}0 \div 1{,}5)\,м,$$

где поправка в $1{,}0 \div 1{,}5$ *м* равна допустимому увеличению высоты забоя в результате самообрушения кромки. Однако в подобных случаях необходимо соблюдать предосторожности (искусственное обваливание козырьков, недопущение людей в забои с нависшими козырьками и пр.).

При разработке связных грунтов и высоте забоев, превышающей высоту резания при наибольшем радиусе, образуются козырьки, некоторое время не обваливающиеся и поэтому весьма опасные для работающих людей и для самого экскаватора. Если не допускать в забое нависающих козырьков, то высота забоев в плотных грунтах не должна превышать $H_{макс.р}$.

При забоях высотой меньше нормальной производительность экскаватора уменьшается.

Как показано ниже, объем недоборов снижается при уменьшении высоты забоев. Это положение должно учитываться при разбивке выемок на забои; в ряде случаев оно является решающим при назначении высоты забоя.

§ 10. ФОРМУЛЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЗАБОЕВ МЕХАНИЧЕСКИХ ЛОПАТ

При построении ступенчатых забоев необходимо определить наибольшую глубину их, при которой экскаватор сможет грузить грунт на транспортные приборы, расположенные на верху разрабатываемой выемки. Эта глубина называется погрузочной глубиной, обозначается $h_{пог}$

(рис. 103, *а*) и определяется по формуле:

$$h_{\text{пог}} = H - h_{\text{тр}} - (0{,}2 \div 0{,}3)\ м, \tag{63}$$

где H — высота разгрузки в *м*;

h — высота транспортного прибора в *м*;

$(0{,}2 \div 0{,}3)$ *м* — запас от низа откинутого днища до верха бортов автомашины или платформы.

Численные значения $h_{\text{пог}}$ для экскаваторов с ковшами до 3 $м^3$ сильно изменяются в зависимости от типа транспортного прибора и угла наклона к горизонту стрелы экскаватора: от 2 до 4,5 *м* — при угле наклона стрелы 55—65°, от 1 до 3,4 *м* — при угле 45 и от 0,25 до 1 *м* — при угле 35°.

Так как $h_{\text{пог}}$ вообще невелико и с увеличением $h_{\text{пог}}$ уменьшается общее число забоев, то при построении ступенчатых забоев следует брать максимальный угол наклона стрелы к горизонту.

При ярусных забоях положение иное. Даже при угле наклона стрелы к горизонту в 35° имеется возможность загружать почти все транспортные приборы механической лопатой. Так как уменьшение угла наклона стрелы связано с уширением забоя, то ярусные забои целесообразно строить с наименьшим углом наклона стрелы к горизонту. Некоторое уменьшение H обычно не имеет значения, так как даже $2\ h_{\text{пог}} < H_{\text{макс}}$. Кроме того, уменьшение H полезно для уменьшения объема недоборов.

Расстояние между осью экскаватора и осью транспортных приборов $S_{\text{эк.тр}}$ при угле поворота $\alpha = 90°$ и $\alpha < 90°$ определяется по формулам (60) и (60а).

Расстояние от транспортного пути до бровки выемки:

$$S_{\text{тр. бр}} = \frac{b_{\text{тр}}}{2} + (1{,}0 \div 0{,}5)\ м, \tag{64}$$

где $b_{\text{тр}}$ — ширина транспортного прибора в *м*;

$(1{,}0 \div 0{,}5)$ *м* — минимальное расстояние от бровки выемки до границ транспортного прибора.

Нормальная ширина ступенчатых и ярусных забоев по дну:

$$B = R_{\text{з. мин}} + R_{\text{з}}, \tag{65}$$

так как в сторону погрузки следует откладывать минимальный радиус резания по дну, чтобы не подрыть транспортные пути.

Минимальная ширина забоев по дну:

$$B_{\text{мин}} = 2R_{\text{з. мин}}.$$

Суженные по дну забои целесообразны у откосов выемки с целью уменьшения недоборов.

Нормальное расстояние между осями последовательных экскаваторных ходов:

$$S_{\text{эк}} = S_{\text{эк. тр}} - S_{\text{тр. бр}} + R_{\text{з}}.$$

По приведенным формулам можно строить экскаваторные забои, а также разбивать выемку на отдельные забои с использованием рабочих параметров механических лопат; последние берутся при таких углах наклона стрелы, какие выбраны для построения экскаваторных забоев.

§ 11. ПОСТРОЕНИЕ ЗАБОЕВ МЕХАНИЧЕСКИХ ЛОПАТ

Построение ступенчатого забоя с погрузкой на транспортные приборы, находящиеся в соседнем забое (рис. 103, *а*). От оси экскаваторного хода (точка A) откладываем по дну забоя $R^{\text{р}}_{\text{з.мин}}$ в сторону погрузки и $R_{\text{з}}$ в сторону забоя точки B и B. Далее, от оси экскаваторного хода откладываем величину $S_{\text{эк.тр}}$ и находим ось транспортного пути. Отложив по вертикали от дна забоя величину $h_{\text{пог}}$, находим уровень транспортного пути; на пересечении

его с осью транспортного пути находим точку $Г$. Отложив от нее влево расстояние $S_{тр.бр}$, находим точку $Д$, определяющую вместе с точкой $Б$ очертания правого откоса забоя. При разработке левого откоса забоя экскаватор не должен задевать своей задней частью за правый откос (проверка на хвостовой радиус—точка $Е$). Левый откос строится по точке $В$, точке $Ж$ с координатами $R_{2,5}$ и $H=2{,}5$ *м*, точке $З$ с координатами $R_{макс}$ и $H_{макс.р}$, точке $И$ с координатами $R_{макс.в}$ и $H_{макс}$. Если точка $И$ лежит выше поверхности забоя, то последней точкой левого откоса является точка $К$ пересечения линии $ЗИ$ с поверхностью забоя.

Высота первых ступенчатых забоев обычно меньше $H_{макс}$ и $H_{макс.р}$. Таким образом, при построении их полностью использована только высота разгрузки. Так как с увеличением $h_{пог}$ уменьшается общее число забоев, то ступенчатые забои следует разрабатывать при максимальном угле наклона стрелы к горизонту и без снижения параметра h.

Построение ярусных забоев с погрузкой на транспортные приборы, находящиеся в соседнем забое (рис. 103, *б*). Если линия $АБВ$ представляет собой очертание левого откоса только что разрабатанного забоя, то построение соседнего ярусного забоя начинаем, отложив от точки $А$ вправо величину $S_{тр.бр}$. Полученная точка $Г$ определит положение оси транспортного пути. Отложив от нее влево величину $S_{эк.тр}$, найдем положение оси экскаваторного хода, определяемого точкой $Д$. Отложив от нее вправо $R_{в.мин}$ и влево $R_{л}$, получаем точки $Е$ и $Ж$, определяющие границы забоя по дну. Очертания левого откоса строим по точке $Ж$ и еще по трем точкам с теми же координатами, как и при построении левого откоса ступенчатого забоя.

§ 12. РАЗБИВКА ВЫЕМОК НА ЗАБОИ ПРИ СКВОЗНЫХ ПРОХОДКАХ МЕХАНИЧЕСКИХ ЛОПАТ С ПОГРУЗКОЙ НА ТРАНСПОРТНЫЕ ПРИБОРЫ, НАХОДЯЩИЕСЯ В СОСЕДНЕМ ЗАБОЕ

Основные требования. При сквозных проходках выемка разрабатывается отдельными забоями, прорезающими ее по всей длине, но охватывающими только часть поперечного сечения (по ширине и высоте). Разбивка выемок на отдельные забои должна удовлетворять ряду требований.

1. Рабочие параметры экскаватора должны использоваться с наибольшей полнотой с тем, чтобы получить бóльшую удельную кубатуру забоя. Это позволяет свести к минимуму число забоев и увеличить объем грунта, разрабатываемого с одной стоянки экскаватора.

2. Должно быть обеспечено осушение котлована (выемки) путем достаточного понижения горизонта грунтовых вод для того, чтобы экскаватор и транспортные приборы могли беспрепятственно передвигаться; сток атмосферных вод должен быть перехвачен и отведен в сторону нагорными канавами.

3. Так как удаление 1 $м^3$ недоборов, неизбежно получающихся при работе механических лопат, обходится значительно дороже стоимости экскаваторной разработки, то количество недоборов должно быть сведено к минимуму. Это очень важно для снижения стоимости работ и их ускорения.

4. Производительность механической лопаты существенно зависит от квалификации механика; разбивка на забои должна, по возможности, предусматривать погрузку на транспортные приборы справа по ходу экскаватора. Это облегчает работу по управлению экскаватором, так как сиденье и пульт механика находятся с правой стороны.

5. Работа на полностью вытянутой рукоятке более затруднительна для механика и связана с наибольшими напряжениями в стреле и рукояти, а также с увеличением времени цикла. Поэтому при разбивке на забои рабочие параметры экскаватора следует несколько уменьшать. Исключением является высота разгрузки в ступенчатых забоях, так как ее уменьшение связано со значительным уменьшением $h_{пог}$, а следовательно, и с увеличением числа ступенчатых забоев.

6. Должен быть предусмотрен возможно меньший угол поворота экскаватора на разгрузку.

Разбивка выемок на забои по вертикали. Разбивка выемки на забои должна начинаться с разбивок в вертикальном направлении; при этом определяется число ступенчатых забоев и глубина пионерной траншеи. Разбивку следует выполнять так, чтобы не оставалось недоборов по дну по всей длине выемки. Для получения минимального числа ярусов и забоев величина $h_{пог}$ берется максимальной, т. е. при наибольшем угле наклона стрелы.

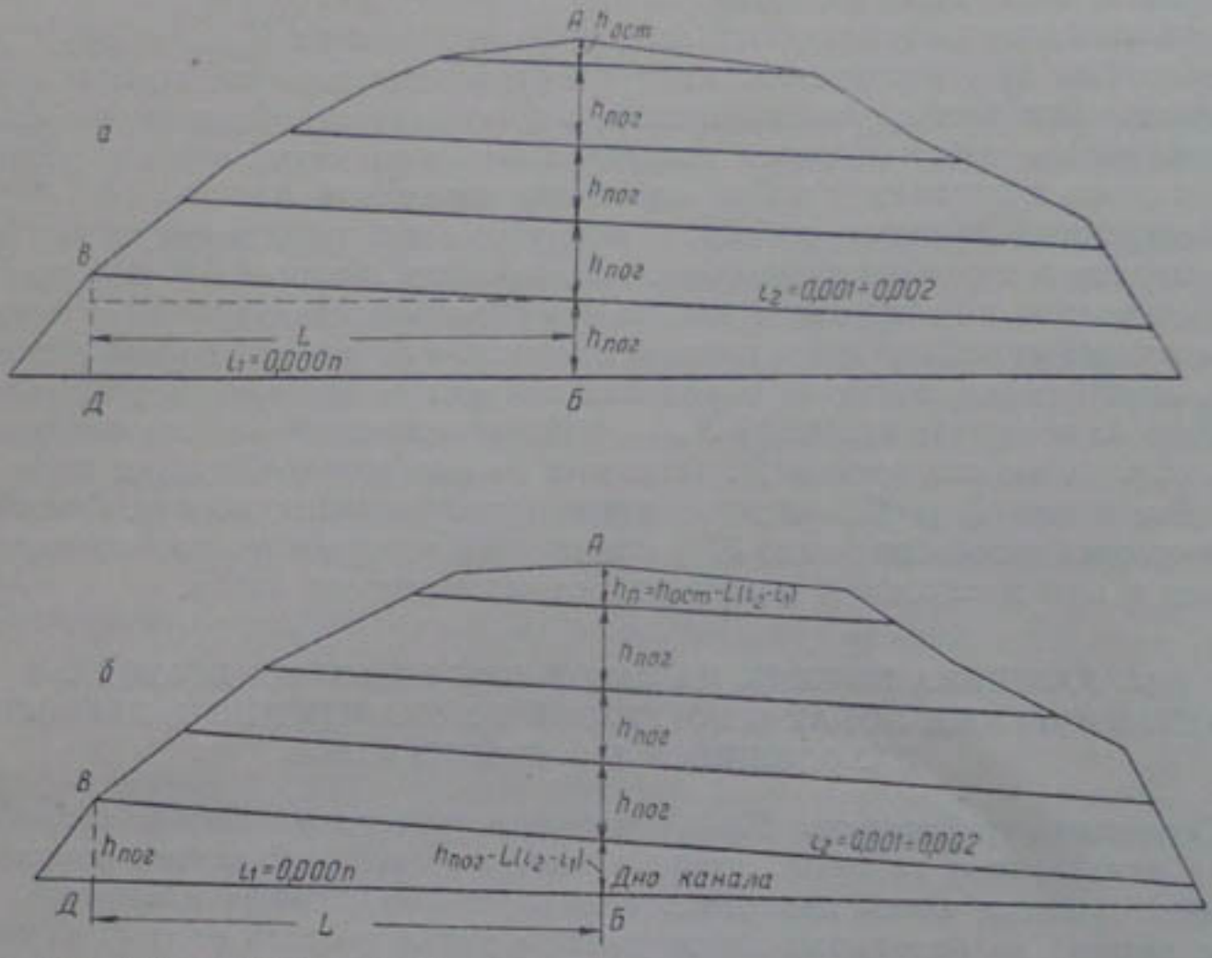


Рис. 104. Разбивка забоев механических лопат в продольном профиле: *а*—первоначальная; *б*—с поправкой.

Для разбивок выбирается наиболее невыгодное сечение $АБ$, т. е. сечение с наибольшей глубиной выемки $H^{в}_{макс}$ (рис. 104). Число промежуточных забоев n высотой $h_{пог}$ и один забой неполной высоты $h_{ост}$ находим из уравнения:

$$H^{в}_{макс} = h_{пог}\, n + h_{ост}. \qquad (66)$$

Так как n должно быть целым числом, а $h_{ост} < h_{пог}$, то из уравнения (66) можно найти n и $h_{ост}$.

Чтобы не получалось на дне выемки недобора, удаление которого будет стоить дорого, рациональнее начать разработку с открытия траншей глубиной, равной $h_{ост}$, и шириной, достаточной для прохода по ней транспортных приборов. Дно первого ступенчатого забоя следует строить от дна этой траншеи. Дно последнего ступенчатого забоя при этом получится точно на дне выемки. Такую траншею обычно называют п и о н е р н о й. При устройстве пионерной траншеи гарантируется отсутствие недобора в расчетном сечении (с наибольшей глубиной выемки), но не по всей длине выемки.

Действительно, для устройства осушительных канав забоям следует придавать уклон не менее i=0,001÷0,002. Но дну последнего забоя нужно дать уклон, равный проектному уклону дна канала i_2; последний же обычно выражается в десятитысячных.

Если в расчетном сечении $АБ$ (рис. 104, *а*) нижний забой взять глубиной $h_{пог}$, то экскаватор, двигаясь по проектному дну канала, не сможет

отгрузить разработанный грунт в транспортные приборы на части выемки $БД$; в этой части выемки глубина ее больше $h_{пог}$.

Наибольшая величина $h_{пог}$ будет в сечении $ВД$. Чтобы не было недобора по дну на всей длине выемки, необходимо уменьшить глубину последнего ступенчатого забоя в сечении $АБ$ на величину $h_{попр} = L(i_2 - i_1)$. На соответствующую величину нужно увеличить глубину пионерной траншеи. Следовательно:

$$h_{пион} = h_{ост} + L(i_2 - i_1), \tag{67}$$

а глубина последнего ступенчатого забоя в сечении $АБ$ равна $h_{пог} - L(i_2 - i_1)$. Величина L определяется графически по продольному профилю (рис. 104, *б*).

Если полученная глубина пионерной траншеи $h_{пион} < h_{пог}$, то означенную разбивку забоев по вертикали оставляем как окончательную. Она обеспечивает: 1) отсутствие недоборов по дну по всей длине выемки; 2) использование рабочих параметров экскаваторов (в отношении $h_{погр}$) при построении ступенчатых забоев и 3) осушение всех забоев. Если $h_{пион}$ получится больше $h_{пог}$, то глубину пионерной траншеи уменьшаем на $h_{пог}$ и вводим дополнительный ступенчатый забой.

Грунт из пионерной траншеи следует укладывать над первым ступенчатым забоем; он будет разработан и погружен на транспортные приборы при разработке этого забоя.

Ширина пионерной траншеи должна быть достаточной для размещения транспортных приборов; она определяется по формуле:

$$B_{пион} = b_{тр} + b_{зап}, \tag{68}$$

где $b_{тр}$ — ширина транспортных приборов;

$b_{зап}$ — запас в ширине.

Минимальная ширина траншеи, разрабатываемой механической лопатой, равная $2R_{з.мин}$, значительно больше, чем $B_{пион}$. Поэтому механические лопаты не подходят для разработки пионерной траншеи; ее можно разрабатывать драглайном, скрепером, грейдер-элеватором.

Предлагаемый метод предусматривает разработку выемки с одной стороны, с чем связано наименьшее число вводов экскаватора в забой. При длинных выемках в целях ускорения сроков производства работ может представиться целесообразным разрабатывать выемку с двух сторон. Если при этом место перелома выбрать в наиболее глубоком сечении, то вводить $h_{попр}$ к глубине последнего ступенчатого забоя не требуется.

Мероприятия по снижению объема недоборов. Важнейшим требованием при разбивке выемок на забои нужно считать минимум недоборов.

Объем недоборов при работе прямых лопат в забоях достигает значительных величин; кубатура недоборов в процентах от основной выемки, по данным инж. М. Ф. Страмоуса[1], показана в таблице 11.

Таблица 11

Высота забоев в *м*	2	3	4	5	6	7	8
Кубатура недоборов в % от объема выемки	3,5—8	6—13	9—16	11,5—19,5	14—25	16—29	18—32

Так как удаление недоборов значительно дороже стоимости экскавации, то при уменьшении объема недоборов до 1—2% и менее удешевление стоимости экскаваторной разработки, по расчетам автора, снижается до 25%.

[1] М. Ф. Страмоус. Новое оборудование для строительства земляного полотна железных дорог. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 11, 1953.

Для выяснения мероприятий по снижению недоборов на откосах автором произведен анализ. При разных углах наклона стрелы, разных высотах забоев $H_{макс}$ и $H_{макс.р}$ и разных расстояниях оси экскаваторного хода от бровки откоса $R_{э.мин}$ и $R_э$ построены очертания забоев механических лопат и выяснено влияние различных факторов на объем недоборов (рис. 105).

В таблице 12 приведены объемы недоборов в процентах от кубатуры полузабоя; цифры, стоящие над чертой, относятся к случаю, когда $H_э = H_{макс}$, а под чертой—когда $H_э = H_{макс.р}$.

Таблица 12

Условия работы	Емкость ковша экскаватора в м³					
	0,5			1,5		
	Угол наклона стрелы в градусах					
	35	45	55	35	45	55
Высота забоя в м	5,63 / 3,71	6,49 / 4,08	8,21 / 4,58	7,13 / 4,64	8,32 / 5,07	9,36 / 5,14
	Кубатура недоборов в % от объема полузабоя					
При $R_{э.мин}$ откосы 1 : 1	0 / 0	0,56 / 0	10,1 / 0	0 / 0	2,13 / 0	7,30 / 0
То же, 1 : 1,5	2,85 / 0	9,2 / 0	24,6 / 0,57	5,77 / 0	13,15 / 0	15,7 / 0
То же, 1 : 2	10,64 / 0,40	18,7 / 3,1	34,6 / 10,6	14,55 / 1,45	23,0 / 4,3	31,5 / 7,7
При $R_э$ откосы 1 : 1	3,46 / 0	6,70 / 0	18,0 / 1,05	4,14 / 0	8,02 / 0,1	12,83 / 0,4
То же, 1 : 1,5	9,61 / 1,5	13,6 / 2,4	27,7 / 4,9	10,0 / 0,95	16,0 / 3,21	21,9 / 4,0
То же, 1 : 2	24,1 / 11,7	31,1 / 15,0	42,7 / 21,6	23,4 / 8,65	30,3 / 13,7	36,01 / 15,7

Из таблицы 12 и рисунка 105 можно сделать следующие выводы:

1. Объем недоборов на откосах снижается в несколько раз в том случае, когда ось экскаваторного хода находится от бровки откоса на расстоянии $R_{э.мин}$ (по сравнению с $R_э$). Поэтому в забоях, прилегающих к откосам, ось экскаваторного хода следует назначать от бровки откоса на расстоянии $R_{э.мин}$. При разработке откоса рукоять будет постепенно выдвигаться в соответствии с заложением откоса, что обеспечит минимум недоборов по сравнению с любым иным расположением оси экскаваторного хода.

2. Высота забоев оказывает большое влияние на объем недоборов на откосах. В забоях высотой $H_{макс.р}$ объем недоборов в несколько раз меньше, чем при забоях высотой $H_{макс}$. Поэтому для уменьшения недоборов высоту забоев следует назначать равной $H_{макс.р}$. Так как эта высота близка к высоте над землей оси напорного вала, то $K_{нап}$ в этом случае должно быть близким к единице.

3. Очень большое влияние на объем недоборов на откосах оказывает угол наклона стрелы, с уменьшением которого объем недоборов резко сокращается. Это происходит вследствие увеличения R и уменьшения H при меньшем угле наклона стрелы. Уменьшать угол наклона стрелы выгодно и для сокращения числа ярусных забоев, так как параметры резания и разгрузки увеличиваются.

4. При очень пологих откосах, например 1 : 3 и более, указанных мероприятий недостаточно. В таких случаях следует до экскавации следующего яруса произвести разработку будущих недоборов тем или иным способом, например драглайнами, скреперами, грейдер-элеваторами, со сбрасыванием грунта в промежуточный отвал над подлежащим дальнейшей раз-

работке забоем; этот отвал будет удален механической лопатой при последующей разработке.

5. При разработке ступенчатых забоев второго и следующего ярусов ось транспортного пути нередко попадает на гребешок грунта, остающийся между забоями — *М'П'Т* на рисунке 106. Сдвигание оси транспортного пути

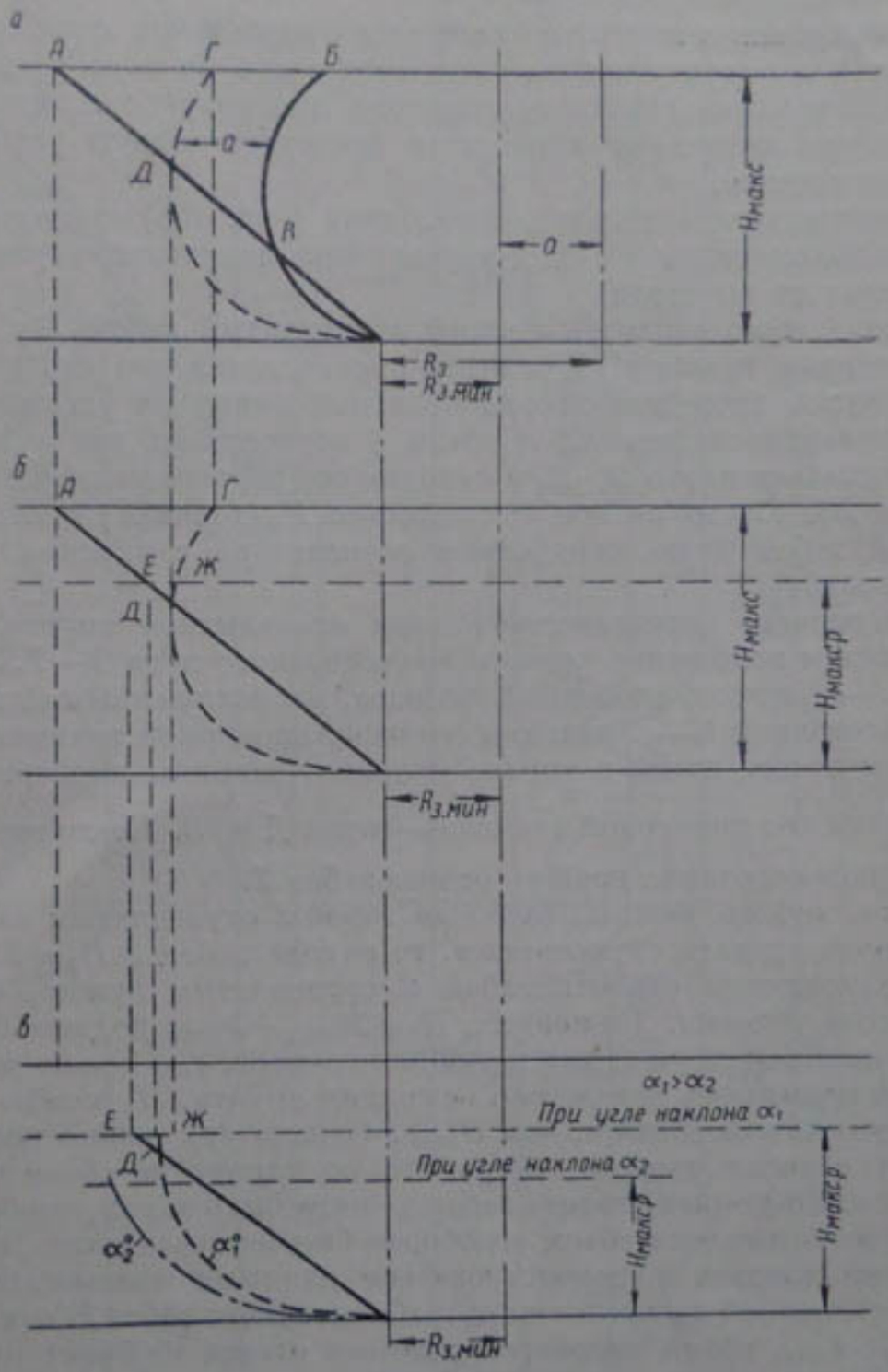


Рис. 105. Влияние различных факторов на объем недоборов на откосах:

а—влияние $R_з$ (при $R_з$ объем недоборов $АБВ$, при $R_{з.мин}$ объем недоборов $АГД$; $АГД < АБВ$); б—влияние высоты забоя (при $H_{макс}$ объем недоборов $АГД$, при $H_{макс.р}$ объем недоборов $ДЕЖ$; $ДЕЖ < АГД$); в—влияние наклона стрелы экскаватора к горизонту (при угле наклона α объем недоборов $ДЕЖ$, при угле наклона α_2 недоборов нет).

влено связано с соответствующим удалением оси экскаваторного хода *6—Т* от бровки выемки, а последнее приводит к значительному увеличению объема недоборов. Поэтому представляются целесообразными заблаговременная срезка и сдвигание в сторону этих гребешков с тем, чтобы обеспечить расстояние оси экскаваторного хода от бровки выемки, равное $R_{з.мин}$. Указанными выше путями можно снизить объем недоборов в поперечном сечении до 1—2% и менее.

На основе графика (рис. 105) перед разбивкой на забой следует построить вспомогательную таблицу недоборов и откосов при разных высотах забоев (от $H_{\text{макс.р}}$ до $H_{\text{макс}}$) и разных углах наклона стрелы.

Составление таблицы, по типу таблицы 12, для условий разработки данной выемки определенной механической лопатой облегчит разбивку выемки на забои с минимумом недоборов.

Разбивка забоев в поперечном сечении с минимумом недоборов на откосах. Выводы о мероприятиях по уменьшению объема недоборов и о рациональном угле наклона стрелы экскаватора при разработке ярусных и ступенчатых забоев позволяют произвести непосредственную разбивку забоев в поперечном сечении.

Последовательность и правила разбивок (рис. 106) сводятся к следующему (в предположении, что ход экскаватора направлен перпендикулярно линии чертежа от читателя).

1. Прежде всего строится первый ступенчатый забой *1* у правого откоса и пионерная траншея. Для этого определяется дно первого ступенчатого забоя путем проведения горизонтальной линии на расстоянии $h_{\text{пион}}+h_{\text{погр}}$ от поверхности земли. От точки A пересечения дна забоя с линией откоса откладываем влево $R_{\text{э.мин}}$ и находим ось первого экскаваторного хода *1—Э* (точка B). Влево от оси откладываем $R_{\text{э}}$ (точка K) и строим первый ступенчатый забой *1* по параметрам экскаватора с максимальным углом наклона стрелы.

От оси первого экскаваторного хода откладываем вправо расстояние $S_{\text{эк.тр}}$ и находим положение первого транспортного хода *1—Т*. В пересечении линии *1—Т* с дном пионерной траншеи, расположенным от поверхности земли на расстоянии $h_{\text{пион}}$, находим середину пионерной траншеи (точка $Г$). Откладываем от нее влево и вправо половину ширины пионерной траншеи $\frac{B_{\text{пион}}}{2}$, находим дно пионерной траншеи—точки $Д$ и $З$. Соединение точки $Д$ с точкой A дает очертание правого откоса забоя *1*.

2. Далее, нужно решить, будет ли забой *2* ступенчатым или ярусным. Если его вновь сделать ступенчатым, то высота забоя *2* $H_{\text{з}}=2h_{\text{погр}}+h_{\text{пион}}$.

Для возможности строить забой *2* ступенчатым нужно, чтобы были соблюдены два условия. Во-первых, $H_{\text{з}}=2h_{\text{погр}}+h_{\text{пион}}$ должен быть близок к $H_{\text{макс.р}}$; в крайнем случае, для песчаных грунтов, где можно не опасаться образования козырьков вследствие осыпания грунта, $H_{\text{з}}$ можно брать равным или несколько меньшим, чем $H_{\text{макс}}$. Однако это можно делать только при крутых откосах выемки, когда это не влияет на объем недоборов у левого откоса. Во-вторых, высота забоя должна быть такой, чтобы в последнем забое у левого откоса объем недоборов был минимальным. Для решения этого вопроса следует руководствоваться данными вспомогательной таблицы 12, построенной для условий разрабатываемого забоя. Если при высоте забоя $2h_{\text{погр}}+h_{\text{пион}}$ объем недоборов у левого откоса не будет превосходить 1—2% от кубатуры яруса, то забой *2* следует сделать ступенчатым (для уменьшения числа ярусов). Если же при высоте забоя $2h_{\text{погр}}+h_{\text{пион}}$ объем недоборов у левого откоса будет больше 1—2%, то забой *2* следует сделать ярусным высотой $h_{\text{погр}}+h_{\text{пион}}$ в целях уменьшения кубатуры недоборов. Аналогичную поверку можно сделать в предположении, что забой *3* также будет ступенчатым, а высота его будет $3h_{\text{погр}}+h_{\text{пион}}$. Если в этом случае объем недоборов у левого откоса получается чрезмерным, то забой *3* и последующие забои будем строить ярусными.

Определив тип забоя *2* и его высоту, строим ступенчатый забой *2*. Для этого от точки K откладываем вправо $S_{\text{тр.бр}}$, находим ось второго транспортного хода *2—Т* (точка $Ж$), откладываем от нее влево расстояние $S_{\text{эк.тр}}$, получаем ось второго экскаваторного хода *2—Э* (точка O).

Вправо от точки O в сторону погрузки откладываем $R_{\text{э.мин}}$ (точка C), а влево $R_{\text{э}}$ (точка T). Так намечают забой *2*.

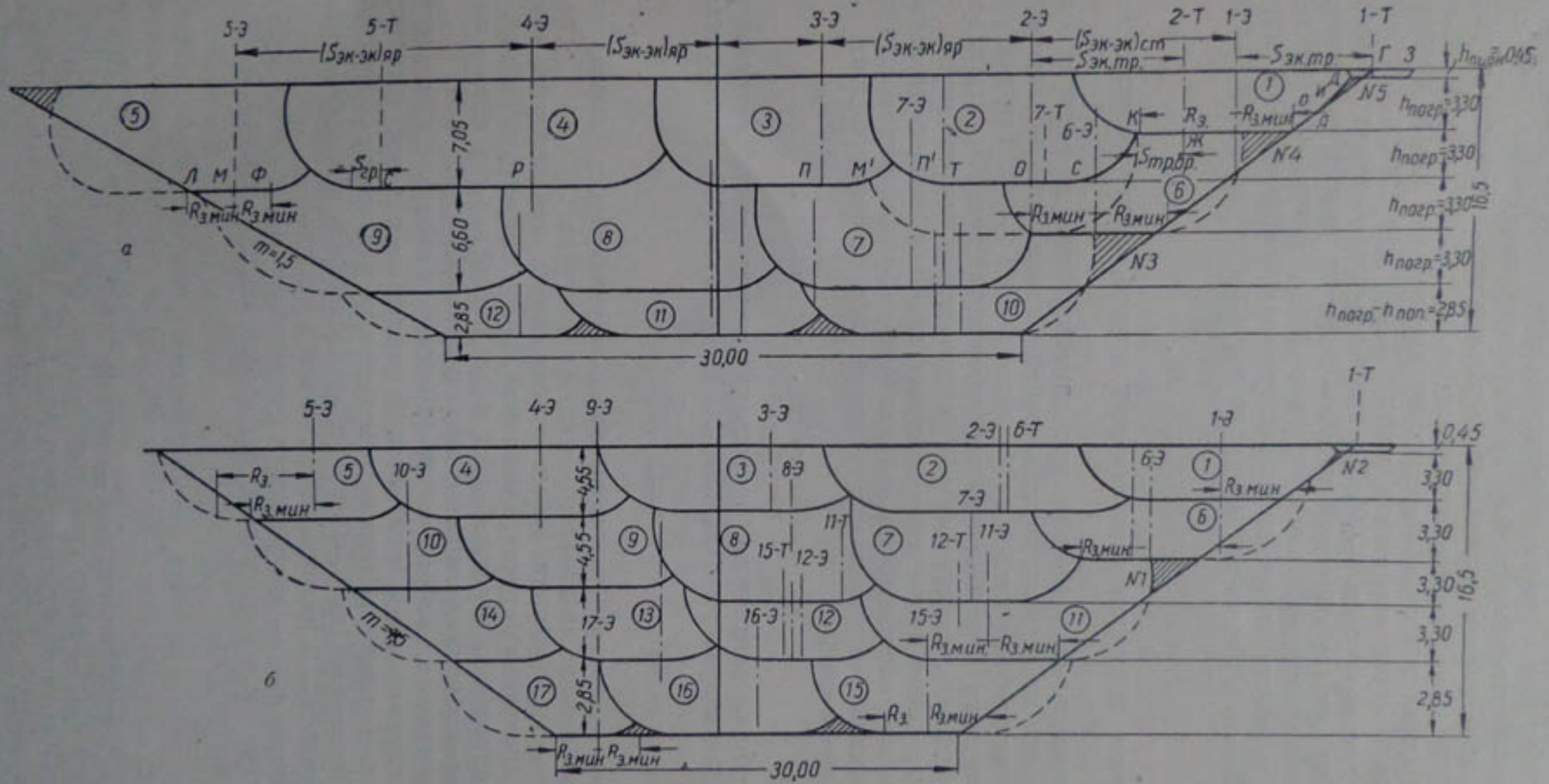


Рис. 106. Непосредственная разбивка выемок на забои при разработке их механическими лопатами:

а—при работе в несвязных грунтах; забои *1*, *2*, *6*, *7* и *10* построены при угле наклона стрелы 55°, остальные забои—при угле наклона стрелы 35°; б—при работе в связных грунтах; забои *1*, *6*, *7*, *11*, *15* построены при угле наклона стрелы 55°, остальные—при угле наклона стрелы 35°; цифры в кружках—номера забоев; *Э*—ось экскаваторного хода; *Т*—ось транспортного хода.

На основе указанных соображений решается вопрос о рациональной высоте забоев $H_{з.рац}$. Число ступенчатых забоев в ярусе должно назначаться из расчета, чтобы высота ярусных забоев была не менее $H_{рац}$. Это относится не только к забоям первого яруса, но и к следующим.

3. После определения рациональной высоты забоя первого яруса следует приступить к построению последнего забоя первого яруса (забой 5). Для этого определяется точка пересечения дна забоя с левым откосом $Л$ и от нее откладывается расстояние, равное $R_{з.мин}$. Это определяет положение оси экскаваторного хода $5—Э$ в последнем ярусном забое первого яруса (точка $М$). Так как транспортный путь $5—Т$ лежит вправо, то от точки $М$ вправо откладывается расстояние, равное $R_{з.мин}$ (точка $Ф$). Последний забой яруса у левого откоса выемки получается с минимальной шириной по дну $B=2R_{з.мин}$. Этим он отличается от других забоев, имеющих ширину по дну:

$$B = R_{з.\,мин} + R_{з}.$$

То же самое относится к забоям всех ярусов, прилегающих к левому откосу.

4. Указанными построениями при односторонней разработке выемки мы получили ось последнего ярусного забоя с левой стороны выемки и ось первого ярусного забоя с правой ее стороны ($5—Э$ и $2—Э$). Так как расчетное расстояние между осями соседних экскаваторных ходов $S_{эк}$ нам известно, то можно определить, сколько забоев размещается в первом ярусе.

Для определения числа экскаваторных ходов n пишем неравенство: $MO \leqslant S_{эк}n$; отсюда определяем n, округляя его до ближайшего целого числа. Тогда фактическое расстояние между осями экскаваторных ходов:

$$S_{э.\,ф} = \frac{MO}{n}. \qquad (69)$$

Как правило, фактическое расстояние между осями экскаваторных ходов $S_{э.ф}$ будет меньше вычисленного $S_{эк}$ по формуле (67). Отношение

$$\varepsilon_{разгр} = \frac{S_{э.\,ф}}{S_{эк}}$$

будет меньше единицы; величина $\varepsilon_{разгр}$ характеризует использование одного из параметров экскаватора—радиуса разгрузки.

По окончании разбивки забоев одного яруса аналогичным образом строим забои следующих ярусов. Если забой 2 получается ярусным (рис. 106), то после его построения строится забой 5 (последний забой у левого откоса) и дальнейшая разбивка проводится аналогичным образом.

Как указывалось, работа на предельных параметрах нежелательна, так как усложняет труд машиниста и увеличивает износ экскаватора. Обычно признается целесообразным уменьшать по указанным соображениям параметры экскаватора на 5—10%. Это необоснованно и неправильно, так как коэффициент $\varepsilon_{разгр}$ должен определяться расчетом.

Коэффициент $\varepsilon_{выс.рез}$ определяется отношением рациональной для данного случая (по ряду изложенных выше соображений) высоты забоя $H_{рац}$ к $H_{макс}$. Следовательно,

$$\varepsilon_{выс.\,рез} = \frac{H_{з.\,рац}}{H_{макс}}.$$

При $H_{з}=H_{макс.р}$ коэффициент $\varepsilon_{выс.рез}$ изменяется от 0,55 до 0,66. При более высоких забоях $\varepsilon_{выс.рез}$ будет несколько больше, но все же по соображениям минимума недоборов он будет меньше, чем 0,90. Поэтому принятие общего коэффициента $\varepsilon=0{,}90 \div 0{,}95$ для разных параметров экскаватора, как это рекомендуется в различных курсах, не только является произвольным, но и принципиально неправильным, так как для высоты резания этот параметр значительно меньше, чем для радиуса разгрузки.

Для высоты разгрузки в ступенчатых забоях коэффициент $\varepsilon_{выс.разг}$ нужно принимать близким к единице, так как даже при небольшом уменьшении $h_{разг}$ погрузочная глубина $h_{пог}$ уменьшается очень существенно, что имеет результатом значительное и нежелательное увеличение числа ступенчатых забоев.

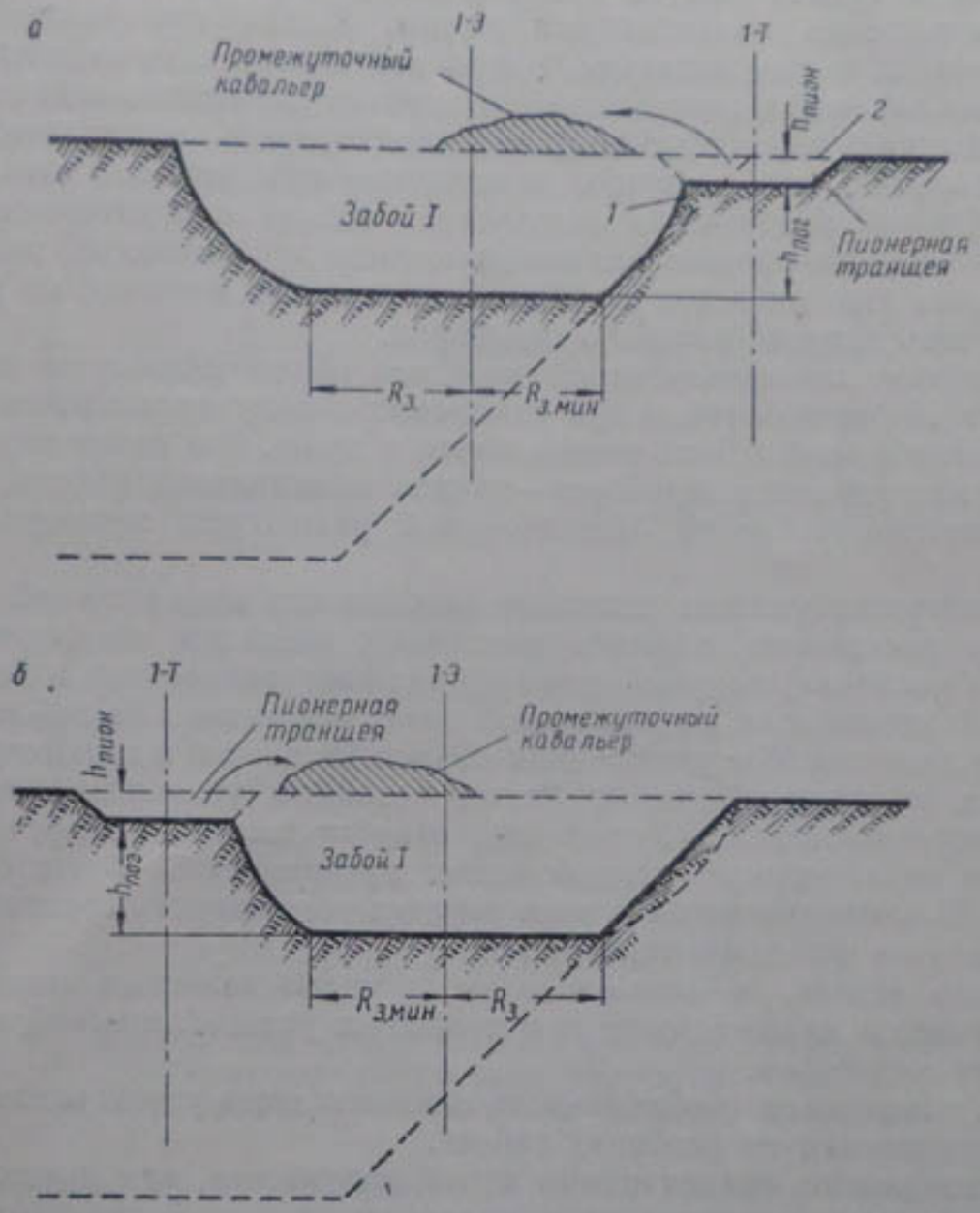


Рис. 107. Перенос пионерной траншеи вправо от экскаваторного хода для уменьшения недоборов (*а*) и снижения непрофильной кубатуры пионерной траншеи (*б*).

Что касается параметра R, то поправочный коэффициент $\varepsilon_{рез}$ определяется по ранее изложенным соображениям о нерациональности работы на полностью вытянутой рукояти.

Если часть пионерной траншеи проходит внутри выемки, то горизонт воды в отрываемом канале может оказаться выше дна пионерной траншеи, т. е. получится мелкозатопленное пространство, что по ряду соображений нежелательно. Кроме того, при разработке правого откоса забоя *I* могут быть значительные недоборы и увеличение непрофильной кубатуры. Для устранения этого можно расположить пионерную траншею не с правой стороны от первого экскаваторного хода (рис. 107, *а*), а с левой (рис. 107, *б*), чем можно значительно уменьшить объем недоборов у правого откоса забоя *I*. Однако при этом приходится разрабатывать забой *I* с погрузкой налево, а не направо. Оценив достоинства и недостатки обоих вариантов расположения пионерной траншеи, можно выбрать наиболее рациональное для каждого конкретного случая решение.

Сравнение предлагаемого метода с другими. Правильная разбивка выемок на забои имеет большое влияние на экономику экскаваторных работ. Однако в литературе вопрос о разбивке выемок на забои либо вовсе не рассматривается, либо рекомендуется способ подбора без попытки разработать для него руководящие указания. Между тем способ подбора является весьма длительным и трудоемким, а главное, он не дает уверенности в том, что выбранное решение является наилучшим. Подбор при различных углах наклона стрелы, а следовательно, и при разных сечениях отдельных забоев чрезвычайно сложен, а результаты его случайны. Решение задачи подбором без руководящих указаний о том, как именно нужно его делать, приводит к работе вслепую, что, конечно, недопустимо при решении столь важного вопроса. Способ подбора не затрагивает весьма существенного вопроса о разбивке выемки в продольном профиле, тогда как именно это рассмотрение дает исходные указания для разбивок в поперечном сечении; не рассматривается и очень важный вопрос о недоборах.

Между тем, по предлагаемой методике объем недоборов может быть уменьшен в 10 раз и более, а при одиночных и полуторных откосах выемки объем недоборов может быть сведен почти к нулю. Это имеет огромное значение, так как удаление недоборов—трудно выполняемая работа, вызывающая увеличение стоимости экскаваторной разработки примерно на 25% и более.

В заключение укажем основные особенности предлагаемой методики.

1. Она раскрывает влияние различных факторов на окончательные результаты разбивки, вскрывает весьма важные взаимосвязи и дает зависимости, необходимые для рациональной разбивки выемок на забои.

2. Она дает способы уменьшения объема недоборов и гарантирует минимальное их количество при принятых исходных условиях работ. В ряде весьма распространенных случаев при откосах выемок не круче полуторных работа механической лопатой может производиться почти без всяких недоборов. В сомнительных случаях имеется возможность сравнить варианты и выбрать из них наивыгоднейший.

3. Число забоев, а следовательно, и число холостых экскаваторных ходов получается минимальным для принятых условий производства работ и минимума недоборов.

4. Она показывает необходимость и возможность учета влияния характера грунтов выемки на разбивку забоев.

5. Расположение транспортных путей получается, как правило, с правой стороны экскаваторного хода, что обеспечивает более продуктивную работу механика.

6. Работа механической лопаты ведется со сниженными параметрами, что создает более благоприятные условия для работы механика, снижает $t_ц$ и уменьшает износ экскаватора. Снижение параметров достигается не эмпирическим назначением общего для всех параметров коэффициента запаса, а определяется для каждого отдельного параметра возможностями, выясняемыми в процессе разбивки.

§ 13. РАЗБИВКА ВЫЕМОК НА ЗАБОИ ПРИ СКВОЗНЫХ ПРОХОДАХ МЕХАНИЧЕСКИХ ЛОПАТ С ПОГРУЗКОЙ НА ТРАНСПОРТНЫЕ ПРИБОРЫ, РАСПОЛАГАЕМЫЕ В РАЗРАБАТЫВАЕМОМ ЗАБОЕ

Обычное название разбивки—«лобовой» не отражает особенности процесса, поэтому мы вводим название, указанное в заголовке параграфа, как более точно характеризующее способ разбивки и отличающее его от ранее описанного.

Механическая лопата идет вдоль выемки и разрабатывает симметричный забой шириной $B=2R_з$ (рис. 108, *а*). Площадь забоев получается примерно в $1^1/_2$ раза больше, чем при погрузке в транспортные приборы, расположенные в соседнем забое. В соответствии с этим число забоев умень-

шается, что и является единственным положительным качеством данной разбивки, далеко не искупающим целого ряда свойственных ей недостатков. В забоях, прилегающих к откосам, ось транспортного хода для уменьшения недоборов должна находиться от бровки на расстоянии $R_{з.мин}$, поэтому ширина по дну этих забоев:

$$B = R_з + R_{з.мин}.$$

Высота забоя не должна превышать $H_{макс}$ —для сыпучих и $H_{макс.р}$—для связных грунтов; при выборе максимальной высоты забоев и угла наклона стрелы необходимо руководствоваться предварительно составленной таблицей недоборов, как это указывалось выше.

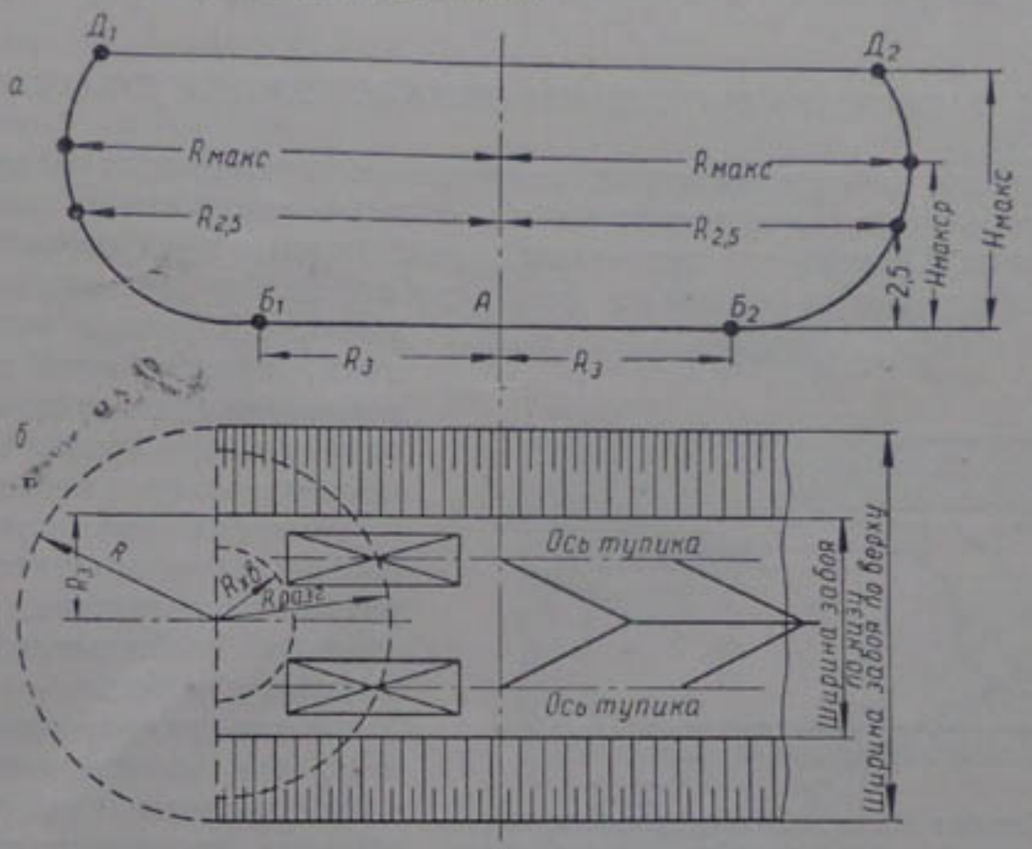


Рис. 108. Разбивка выемок на забои при транспортных приборах, находящихся в разрабатываемом забое:
а—построение забоя; *б*—схема подачи платформ под погрузку.

Транспортные пути помещаются на одном уровне с экскаватором. При отвозке грунта железнодорожным транспортом тупики, по которым подаются платформы, располагаются по обеим сторонам экскаватора. Погрузка составов весьма затруднена, так как под погрузку можно подавать не более как по одной платформе нормальной колеи.

Действительно, на площади, ограниченной радиусами разгрузки и хвостовым радиусом $R_{хв}$, даже одна нормальная платформа не может поместиться целиком (108, *б*). Поэтому погрузка состава связана с длительными маневрами и очень низким $K_{вр}$ экскаватора (0,30 и менее) вследствие значительных потерь времени на смену составов. Не лучше обстоит дело и при отвозке грунта автотранспортом. Радиус поворота автомашин 8—9 *м*, а $R_з$ у экскаваторов с ковшами емкостью 0,5—2 $м^3$ изменяется от 3 до 7 *м*. Ширина забоя недостаточна для поворота грузовика и необходимо или делать сложные маневры, или подавать автомашину к экскаватору в пределах забоя задним ходом. В обоих случаях стоимость транспортировки грунта и время на смену автомашин у экскаватора увеличиваются.

Наконец, при рассматриваемом способе разбивки выемки на забои средний угол поворота экскаватора составляет около 135°, что процентов на 20 увеличивает время цикла экскаватора даже по сравнению с углом поворота в 90° и еще больше—по сравнению с меньшими углами поворота.

При отвозке грунта ленточными транспортерами с погрузкой грунта через бункер значения $K_{вр.см}$ экскаватора могут быть доведены до 0,95,

если передвижка бункера укладывается в сроки передвижки экскаватора. Однако средний угол поворота остается равным 135°, что делает этот способ разработки нерациональным и при этом виде транспорта.

Если ширина выемок невелика и по ширине их достаточно 1—2 забоев, то этот способ разбивки выемок на забои следует признать нерациональным.

При очень широких выемках, когда рядом располагается несколько забоев, при разработке второго и следующих по ширине забоев можно располагать транспортные приборы уже в соседнем с разрабатываемым забое. Указанные выше недостатки здесь отсутствуют, однако в этом случае мы имеем уже разбивку, изложенную в предыдущем параграфе.

§ 14. РАЗРАБОТКА КОТЛОВАНОВ МЕХАНИЧЕСКИМИ ЛОПАТАМИ

Котлованы гидротехнических сооружений, возводимых в русле реки или в ее пойме (плотины, гидростанции, шлюзы), часто имеют большие размеры в плане. Обычно эти котлованы ограждаются с трех сторон перемычками, которые сильно стесняют фронт работ. Особо стесненные условия имеются в речной части котлована, прилегающей к продольной перемычке; съезды в котлован здесь нельзя устроить из-за недостатка места. Разница в отметках дна котлована и берега реки значительная, и устройство выездов из котлована связано с большим объемом земляных работ.

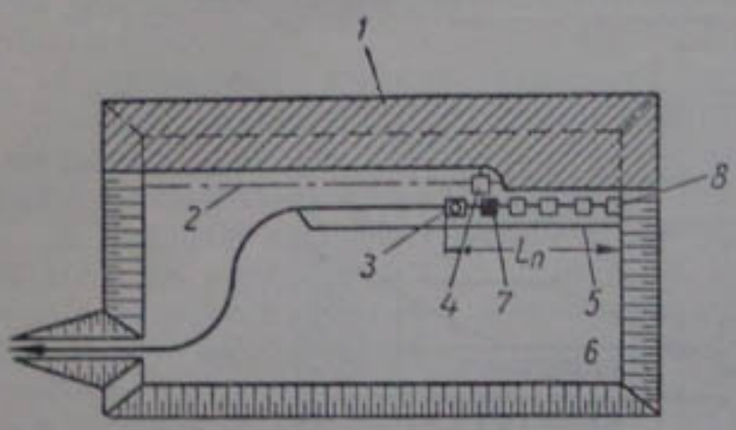


Рис. 109. Схема подачи железнодорожных платформ под погрузку при разработке котлованов:
1—неразработанная часть котлована; *2*—ось экскаваторного хода; *3*—паровоз; *4*—экскаватор; *5*—тупик; *6*—разработанная часть котлована; *7*—груженая платформа; *8*—порожняя платформа.

Если гидроузел строится, как это в последнее время часто делается, на берегу, то глубина выемок под котлован значительна. Места для устройства въезда и выезда транспортных приборов имеются, но при большой глубине котлована выемка для этих целей получается большой. Поэтому вопрос о выборе типа транспорта при экскаваторной разработке котлованов гидросооружений приобретает особое значение; например, при сравнительно небольшой глубине котлована в 10 *м* и руководящих предельных подъемах: 0,025—для железной дороги нормальной колеи, 0,080—для автомашин и 0,250—для ленточных транспортеров, длины выездов будут соответственно 400, 125 и 40 *м*.

Отвозка грунта железнодорожным транспортом из котлованов связана с большими объемами работ по устройству въездов и съездов; при стесненности фронта работ не всегда можно протрассировать въезды. Имеются и другие недостатки железнодорожной отвозки из котлованов. Например, при $i=0{,}015$ поезд с паровозом $О^в$ состоит из 15 платформ и имеет длину 175 *м*. Поэтому, когда до конца котлована остается длина, меньшая, чем длина поезда $L_п$, то под погрузку приходится подавать поезд по частям, для чего нужно устраивать тупик и делать маневры (рис. 109). В конце котлована надо подавать под погрузку по одной платформе, что ведет к значительному снижению $K_{вр}$ экскаватора. Поэтому при разработке котлованов применяется почти исключительно автотранспорт. Могут применяться и ленточные транспортеры; однако, несмотря на дешевизну, этот вид транспортировки грунтов, к сожалению, до сих пор мало применяется.

§ 15. НЕДОБОРЫ, ОСТАЮЩИЕСЯ ПОСЛЕ РАБОТЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЛОПАТЫ, И ИХ УДАЛЕНИЕ

После разработки выемок механическими лопатами остаются недоборы, удаление которых осложняет производство работ и существенно удорожает их. Последнее объясняется расположением недоборов на откосах выемки и небольшим удельным объемом их (на 1 пог. *м*).

При объеме недоборов в 10—15% и стоимости их разработки, в 2—3 раза более высокой, чем разработка основной выемки, удаление недоборов повышает стоимость основной экскавации на 10—30%, а при объеме недоборов в 1—2%—только на 1—4%.

Учитывая ежегодную разработку механическими лопатами сотен миллионов кубических метров грунта, можно считать, что предложенный способ разбивки на забои, обеспечивающий минимальную кубатуру недоборов и значительно удешевляющий экскаваторную разработку, имеет серьезное экономическое значение.

Однако рационализация удаления недоборов состоит не только в уменьшении их кубатуры. Существенное влияние на стоимость оказывает срок удаления недоборов. При удалении недоборов по окончании разработки выемки и сбрасывания их с откосов на ее дно приходится передвигать их по откосу на бо́льшие расстояния, чем при удалении во время отрытия отдельных ярусов; кроме того, при поярусной разработке недоборов они будут удаляться экскаватором во время отрытия нижележащих забоев, т. е. в нормальных условиях и по нормальной цене (кроме последнего яруса). Поэтому следующим этапом рационализации удаления недоборов является п о я р у с н а я р а з р а б о т к а и х, дающая значительный экономический эффект.

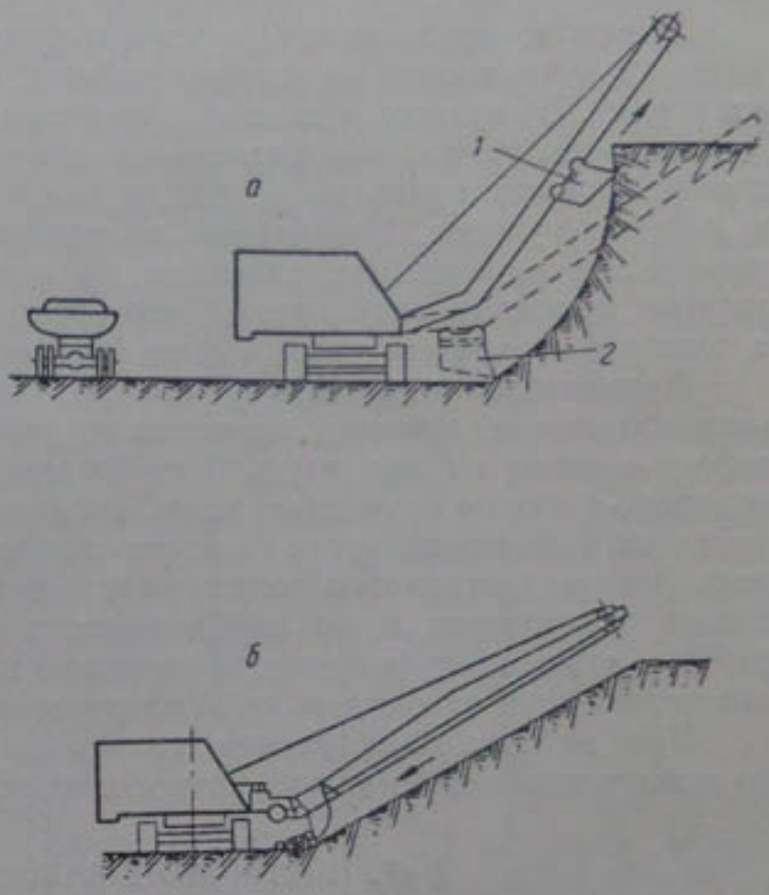


Рис. 110. Удаление недоборов с откосов глубоких выемок:

а—срезка грунта ковшом планировщика с погрузкой на автомашину; *б*—зачистка откоса скребком планировщика. *1*—первая экскавация; *2*—последняя экскавация.

При не слишком крутых откосах 1 : 2,5÷1:3 удаление недоборов может выполняться бульдозерами и грейдерами или многоковшовыми экскаваторами поперечного черпания, например ЭМ-302, как это применялось на Волгодонстрое. Однако ковшовая рама экскаватора ЭМ-302 имеет длину (с концевым планирующим звеном) 12 *м*, и этим экскаватором нельзя удалять недоборы с откосов глубоких выемок; да и далеко не всегда эти экскаваторы имеются на стройках. По проекту Главжелдормеханизации Министерства путей сообщения СССР разработаны и серийно выпускаются планировщики откосов как сменное оборудование к экскаватору Э-505 (рис.110). Сначала ковшом планировщика срезаются гребешки, а затем скребком производится окончательная планировка; ковшом убирается около 95% грунта и скребком около 5%. На откосах 1 : 1,5 планировщик может работать при высоте откосов в 6—6,5 *м*. Поярусная разработка грунта расширяет возможность применения указанных планирующих машин; она дает возможность планировать откосы и более глубоких выемок.

При составлении проекта организации работ по разработке грунта механическими лопатами в калькуляции стоимости 1 $м^3$ грунта следует учитывать объем подлежащих удалению недоборов, а также способы удаления недоборов и стоимость этой работы.

§ 16. ОСУШЕНИЕ ЗАБОЕВ МЕХАНИЧЕСКИХ ЛОПАТ

Механические лопаты во время работы двигаются по дну забоя, следовательно дно должно выдерживать без просадок давление, которое оказывают машины на грунт как во время передвижения, так и во время работы.

Давление от экскаватора передается на грунт неравномерно и изменяется в зависимости от условий работы, типа гусениц и способа крепления их к раме. Фактическое давление от экскаватора на грунт при двухгусеничном ходовом устройстве примерно в два раза больше среднего при направлении копания поперек гусениц и значительно больше при работе вдоль и на угол гусениц. Эти данные показывают, что во время работы механической лопаты в слабых, насыщенных водой, грунтах неизбежны неравномерные просадки экскаватора, что связано с увеличением времени цикла, а также с серьезным увеличением времени на передвижки.

Первоочередными мероприятиями, облегчающими работу и передвижки механической лопаты, являются создание достаточно ровной поверхности забоев и отвод из них воды. В забои может попадать вода от атмосферных осадков, а также грунтовые воды, если дно забоя расположено ниже горизонта их и водопонижение не осуществлено. В мокрых и топких забоях под экскаваторы приходится подкладывать щиты, что, однако, весьма удлиняет время передвижки из-за необходимости перестановки щитов. До начала работ в забое следует провести нагорные канавы, перехватывающие поверхностные воды и отводящие их за пределы выемки (уклон канав 0,002—0,001).

При работе ниже уровня грунтовых вод необходимо водопонижение во всем котловане, а также устройство осушительных канав в забое.

§ 17. ПОСТРОЕНИЕ ЗАБОЕВ ДРАГЛАЙНОМ

Разработка выемок драглайнами может выполняться двумя способами: 1) б о к о в ы м—экскаватор идет сбоку выемки и разрабатывает грунт сбоку (рис. 111, *а*); 2) т о р ц о в ы м—экскаватор идет вдоль выемки, все время отступая от нее и разрабатывает грунт впереди себя (рис. 111, *б*).

Рассмотрим построение забоев при обоих способах.

Для построения забоев с боковой разработкой (рис. 111, *а*) в поперечном сечении через ось вращения стрелы C проводим прямую под углом около 30° так, чтобы она проходила через бровку откоса канала A. Так как высота положения точки C над поверхностью земли известна, то из указанного построения определяется положение оси экскаваторного хода по отношению к бровке канала.

Прямая CAB отсекает треугольник ABD, который не может быть разработан с одной стоянки экскаватора в точке C. Из точки C радиусом, равным радиусу резания с забросом или без него, засекаем точку E. Из точки E проводим прямую с наклоном 1 : 0,5÷1 : 1, в зависимости от допускаемой крутизны откоса. Трапеция $AEFB$ показывает очертания забоя, разрабатываемого со стоянок экскаватора в точке O_1.

При проходе с противоположной стороны канала экскаватор разрабатывает часть сечения канала $A'B'FE$. Точка F является осью канала, разрабатываемого экскаватором при двух его проходках по обоим берегам. Оставшиеся треугольники ABD и $A'B'D'$ разрабатываются со следующих стоянок экскаватора.

Для построения забоев в плане из точки O_1, лежащей на оси экскаваторного хода, описываем три окружности радиусами o_1e_1, o_1f_1 и o_1b_1; радиус o_1e_1 с целью уменьшения угла поворота направлен к оси экскава-

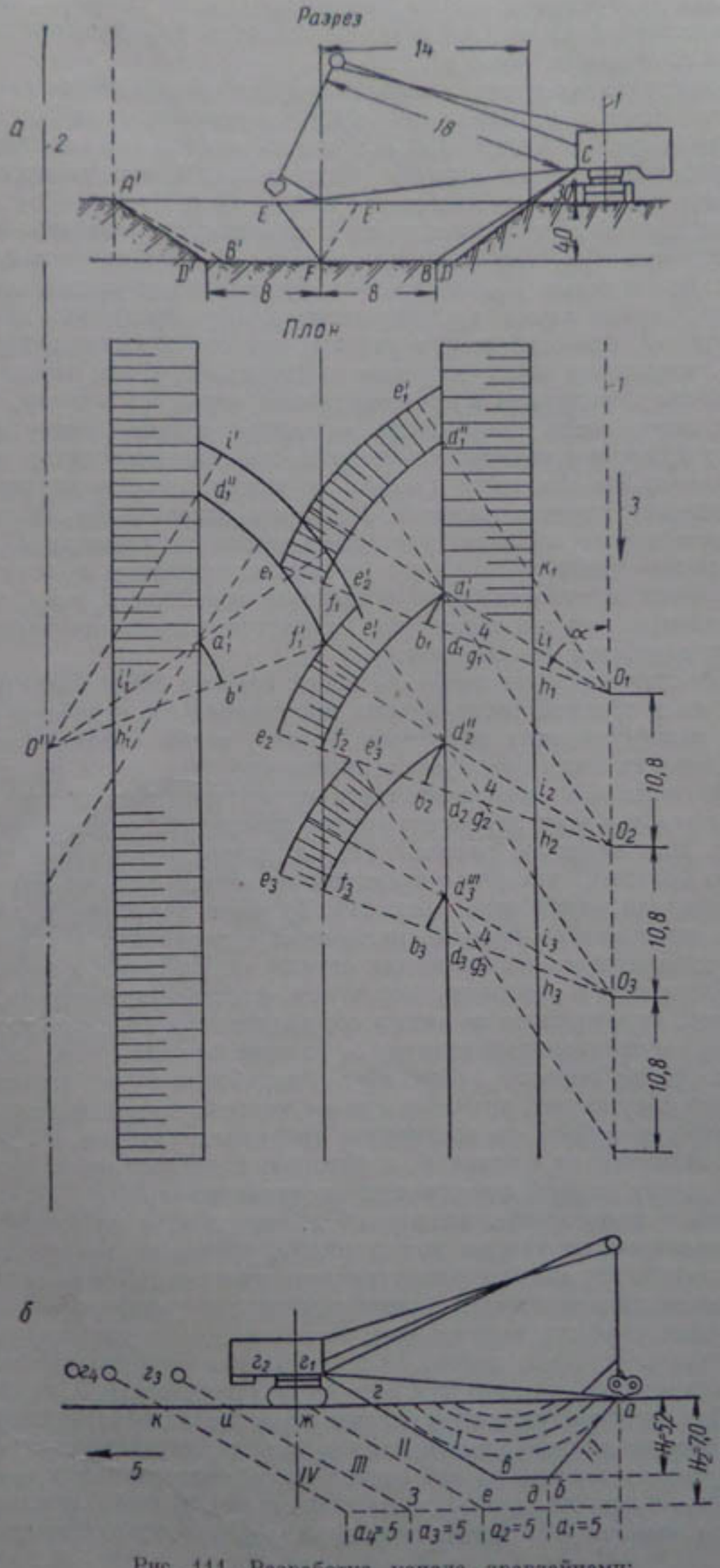


Рис. 111. Разработка канала драглайнами:

а—б'о н о в а я: *1*—ось экскаваторного хода при первой проходке; *2*—ось экскаваторного хода при второй проходке; *3*—направление движения экскаватора; *4*—недоборы на откосах; *б*—т о р ц о в а я: *I*, *II*, *III*, *IV*—номера забоев; *5*—направление движения экскаватора.

торного хода под углом $\alpha < 90°$. Точки e_1, f_1 и b_1 являются проекциями ранее определенных точек e, F и B. Окружность f_1d_1'' доводим до пересечения с линией откоса в точке d_1'.

Со стоянки экскаватора в точке O_1 будет разработано до проектной отметки дно канала на площади $f_1d_1''d_1'b_1$ и откос канала до проектного его заложения на площади $d_1'd_1''i_1k_1$; откос канала на площади $d_1'd_1h_1i_1$ будет разработан с данной стоянки более пологим, чем по проекту, а дно канала будет недобрано на площади $b_1d_1d_1''$.

Для определения точки следующей стоянки экскаватора из точки d_1' проводим прямую $d_1'o_2$, параллельную линии o_1d_1'' до встречи с осью экскаваторного хода в точке O_2, которая и будет местом следующей стоянки экскаватора. Длина линии o_1o_2 определит длину передвижки экскаватора.

Из точки O_2 проводим как и раньше, три окружности радиусами o_2e_2, o_2f_2 и o_2b_2, имеющими вышеуказанные значения. Так как точка d_1' лежала на окружности с радиусом o_1f_1, проходящим через ось канала, то, в силу симметрии, окружность, проведенная из центра o_2 через точку d_1', пройдет через точку f_2 на оси канала. Со второй стоянки экскаватор разрабатывает дно канала на площади $f_2d_1'd_2''b_2$, а также удаляет неразработанный с первой стоянки грунт с площади $d_1d_1'b_1$ и с откоса $d_1d_1'g_1$. Недобор откоса до проектного его наклона будет иметь место на площади $d''_1g_1h_1i_1$.

Аналогично будет происходить работа экскаватора и со следующих стоянок, причем на откосах будут оставаться недоборы $d_2''g_2h_2i_2$ и т. д. Работа экскаватора при проходке его по противоположному берегу канала происходит подобным же образом.

Если бы стоянки экскаватора на обоих берегах были симметрично расположены, то в средней части канала получились бы недоборы $f_1f_1'e_2'$. Для получения минимума этих недоборов нужно, чтобы стоянки экскаватора на разных берегах были сдвинуты относительно друг друга на отрезок f_1f_1'.

Ширина канала по дну зависит от параметров экскаватора, глубины канала, его откосов и от характера грунта (последний определяет крутизну откоса EF). Как видно из рисунка 111, *а*, длина передвижки получилась значительно большей, чем для механической лопаты той же марки.

При торцовой разработке (рис. 111, *б*) ковш движется к экскаватору при первой проходке по прямой, наклонной к горизонту в среднем около 30° и проходящей через ось вращения стрелы $г_1$. Из точки *а* проводим прямую *аб*, наклонную к горизонту под углом естественного откоса. Из условия, что ковш, опустившись по линии *аб*, должен при перемене направления на *вг* пройти горизонтальный участок *бв* длиной не менее, чем длина ковша, находим очертание первого забоя *абвг*. Разработка будет вестись отдельными тонкими стружками, показанными на чертеже пунктирными линиями.

Если первым забоем не достигнута требуемая глубина, то построение второго забоя начинаем с точки *б*, в которую и должен попасть ковш. Это определяет длину первой передвижки экскаватора a_1.

Из точки *б* продолжаем линию *аб* до точки *g*, а из точки вращения стрелы экскаватора во втором положении $г_2$ проводим прямую под углом в 30°. Из условия, что длина горизонтального участка забоя *ge* должна иметь длину не менее длины ковша, получаем очертание второго забоя *бдежгв*. Если требуемая глубина выемки при втором забое не достигнута, то аналогично строят следующие забои. Если требуемая глубина выемки достигнута при втором забое, как это изображено на рисунке 111, *б*, то построение третьего забоя производится следующим образом: за исходную принимаем точку *е*, в которую должен упасть ковш в начале разработки; определив по величине a_2 третье положение оси экскаватора, находим точку $г_3$—ось вращения стрелы—и из нее проводим линию $г_3з$ под углом 30° к горизонту. Пересечением этой линии с дном канала находим очертание третьего забоя *жзде*.

Длину третьей передвижки a_3 определяем из условия, что разработка четвертого забоя должна начаться с точки з, следовательно, длина третьей

передвижки равна *ае*. В дальнейшем анал гичным способом строим очертания четвертого и следующего забоев. При крутых откосах грунта (линия *абд*) необходимая глубина выемки достигается при меньшем числе переста новок экскаватора, чем при пологих. Отсюда следует, что линии *абд* рационально придавать возможно более крутой уклон.

При торцовой разработке угол поворота стрелы экскаватора на разгрузку получается меньше, чем при боковой; это показывает предпочтительность торцовой разработки, особенно учитывая, что при этой схеме можно уменьшать угол поворота увеличением числа экскаваторных ходов. Кроме того, при торцовой разработке наибольшая глубина копания больше, чем при боковой.

Так как переходы экскаватора из забоя в забой занимают около 2% рабочего времени, то дополнительные проходки драглайна делаются выгодными при уменьшении угла поворота примерно на 5°.

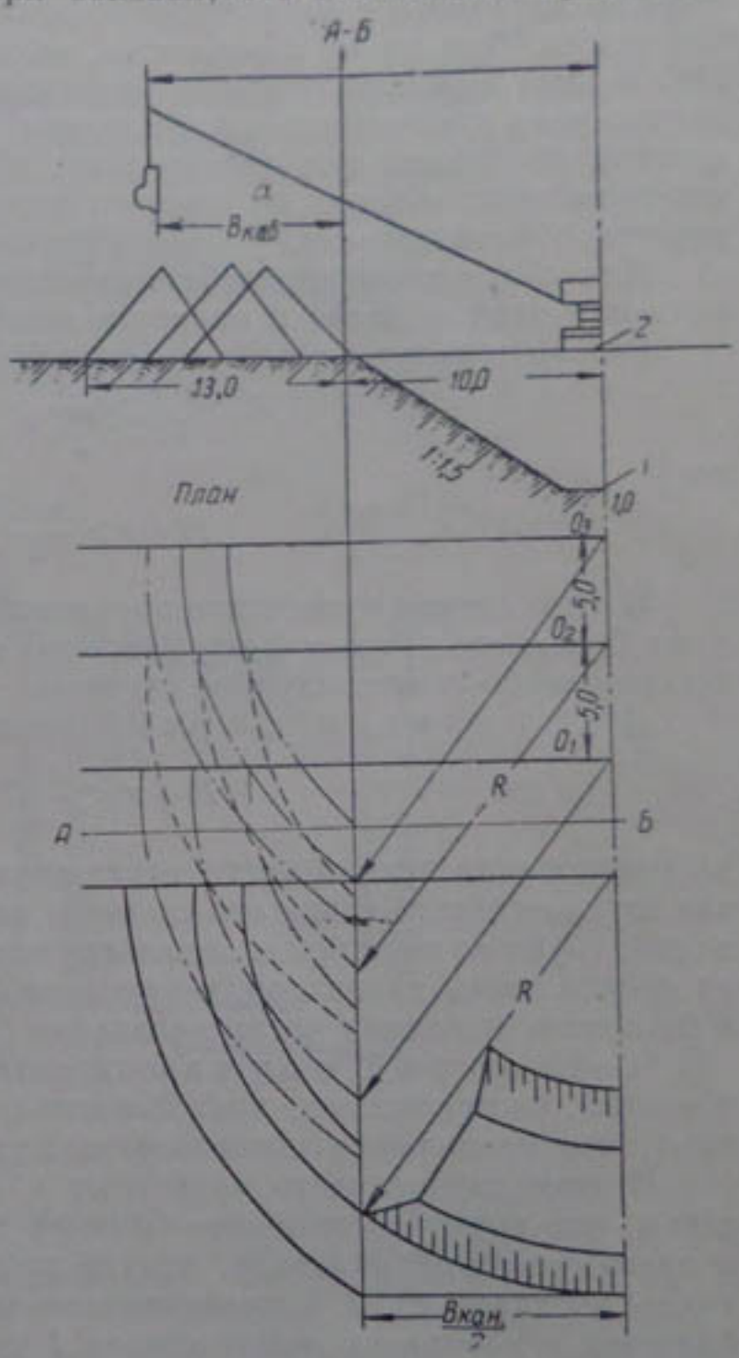


Рис. 112. Торцовая разработка канала при движении драглайна по оси канала:
1—дно канала; *2*—поверхность земли.

§ 18. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КАНАЛОВ ДРАГЛАЙНОМ

Разработка грунта в отвал без перевозки его транспортными приборами более экономична, чем работа с погрузкой на транспорт. Схемы организации работ определяются зависимостью между радиусом копания экскаватора и шириной по верху канала.

Рассмотрим первый случай разработки (рис. 112), когда:

$$r \geqslant \frac{B_{кан}}{2} + B_{кав}.$$

Экскаватор идет по оси канала, разрабатывает грунт торцовым способом и укладывает его в кавальеры. Объем обоих кавальеров должен равняться объему выемки с учетом разрыхления грунта, а именно:

$$2V_{кав} K_{разр} = V_в.$$

Максимальные размеры канала, отрываемого экскаватором, можно определить из следующих условий: 1) наибольшая высота кавальеров равна высоте разгрузки минус запас между низом опрокинутого ковша и верхом кавальера (около 0,3—0,5 *м*); 2) откосы кавальера должны быть приняты такой крутизны, какую может принять грунт при разгрузке; 3) разгрузка производится по окружностям, взаимно накладывающимся друг на друга. Поэтому после отсыпки кавальеров необходимо произвести разравнивание, чтобы придать им правильные очертания трапеции.

Если размеры отрываемого канала заданы, то размеры кавальера определяются из уравнения:

$$\omega_в = 2\omega_{кав} K_{разр} \alpha,$$

где коэффициент α учитывает уменьшение высоты кавальера после разравнивания зубчиков; по подсчетам автора $\alpha \cong 0{,}8$. Так как возможная ширина кавальера известна из графического построения, то сравнение расчетной ширины кавальера с фактически возможной показывает применимость данной схемы. При длине передвижки, определенной построением по рисунку 111, *б*, при заданной ширине кавальера, определяемой в зависимости от длины, угла наклона и поворота стрелы, а также при высоте поворота, возможной по параметрам экскаватора, объем кавальера получается вполне определенным; обычно он неравен тому объему, который получается из расчета объема выемки.

Для сбалансирования объемов выемки и кавальера необходимо изменять или угол наклона и поворота или длину передвижки.

Рассмотрим второй случай разработки, когда

$$r < \frac{B_{кан}}{2} + B_{кав},$$

но

$$R + r \geqslant \frac{B_{кан}}{2} + B_{кав}.$$

В этом случае нужны две проходки экскаватора уже не по оси канала, а по бокам его. Размеры отрываемого канала существенно увеличиваются по сравнению с предыдущим случаем.

Для третьего случая имеем соотношение:

$$R + r < \frac{B_{кан}}{2} + B_{кав},$$

но превышение правой части неравенства над левой невелико. В этом случае нужно сделать с каждой стороны канала не две, а большее число проходок; грунт из смежной к кавальеру части канала складывается в дальнюю от канала часть кавальера, а грунт из средней части канала укладывается в ближнюю к каналу часть кавальера (метод последовательных проходок).

Четвертый случай характеризуется тем же соотношением, что и третий, но превышение правой части неравенства над левой настолько велико, что применение последовательных проходок невозможно (рис. 113).

В этом случае часто прибегают к методу перекидок. Он заключается в том, что грунт из наиболее близкой к оси части канала *3* складывается в промежуточный кавальер, откуда при специальной дополнительной проходке экскаватора *4* переваливается на окончательное место. Грунт из ближней к кавальеру части канала *1* укладывается прямо в кавальер. Таким образом, двойной разработке подлежит только часть отрываемой кубатуры.

Коэффициентом перекидки называется отношение кубатуры разработанного экскаватором грунта к объему выемки.

Подсчитав стоимость перевозки грунта и определив коэффициент перекидки, можно найти экономически допускаемое число перекидок. На строительстве канала имени Москвы число перекидок доходило до двух и даже трех. Вместо перекидок для увеличения сферы влияния драглайна иногда применяют зигзагообразный ход экскаватора (рис. 113, *б*).

В случаях IV и V можно применять также комбинированную работу экскаватора с бульдозером или скрепером, причем наиболее удаленный от кавальера ход экскаватора нужно делать в первую очередь. Затем грунт из промежуточного кавальера перетаскивается бульдозером или скрепером на окончательное место, после чего экскаватор делает проходку по оси, ближе расположенной к кавальеру, и разрабатывает оставшуюся часть канала (рис. 114). Так как стоимость разработки грунта экскаватором зна-

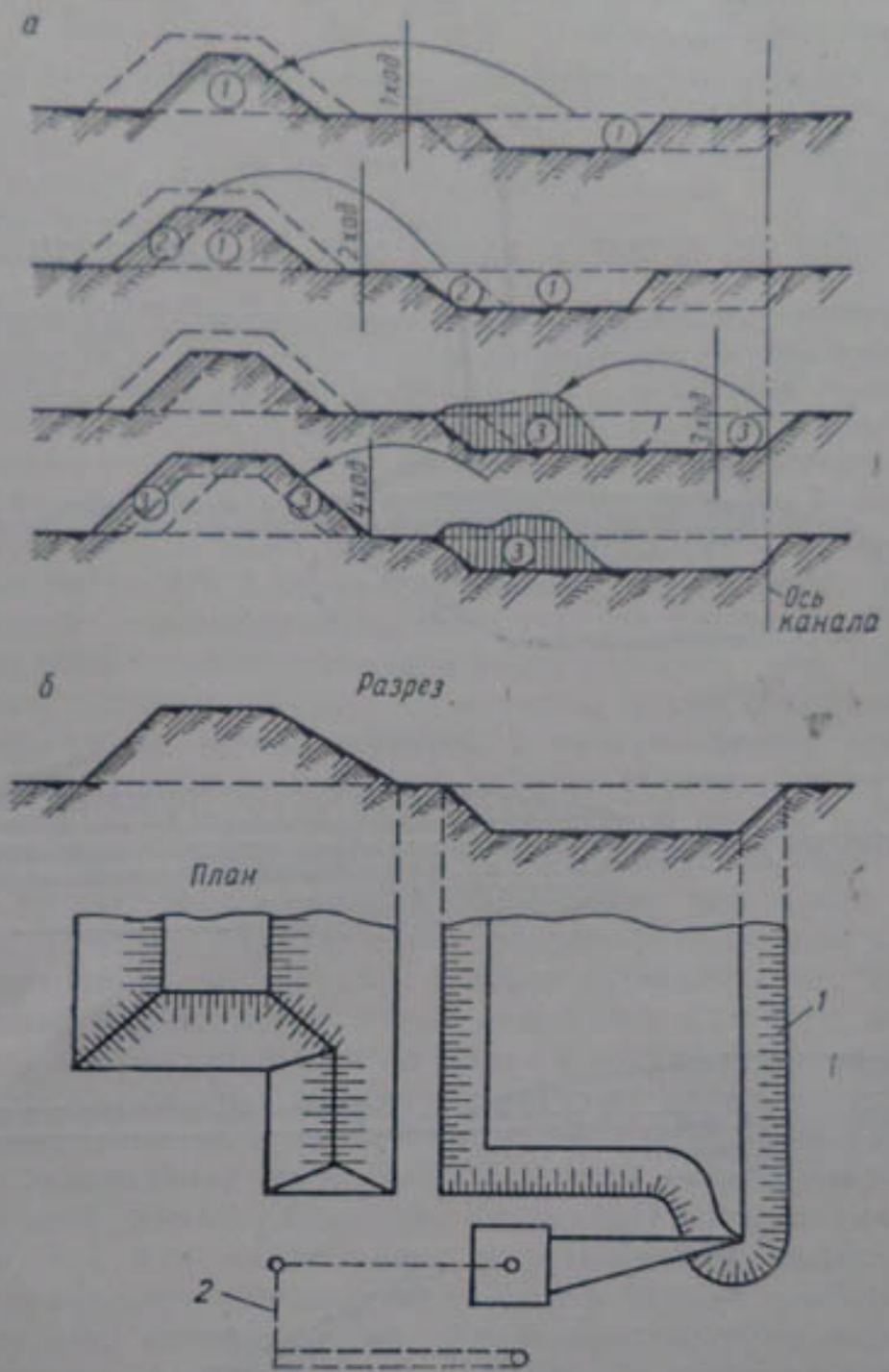


Рис. 113. Торцовая разработка канала драглайном:
а—с частичной переброской грунта; *б*—при зигзагообразном его движении: *1*—разработанная часть канала; *2*—зигзагообразный ход экскаватора.

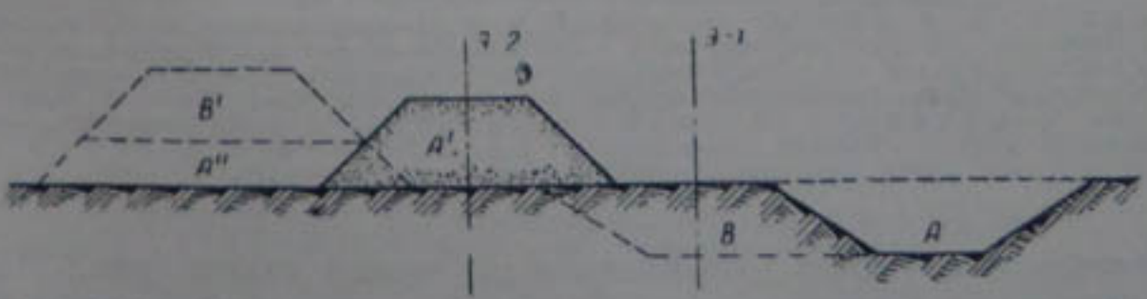


Рис. 114. Разработка канала драглайном с перемещением части грунта бульдозером или скрепером:
3—1, *3—2*—оси проходок экскаватора; *А* и *В*—забои, разрабатываемые экскаватором; *А'*—промежуточный навальер—грунт, укладываемый при первой проходке экскаватора; *А''*—грунт, перемещаемый из промежуточного кавальера бульдозером или скрепером; *В'*—грунт, укладываемый при второй проходке экскаватора.

чительно дороже стоимости работы бульдозером или скрепером, то такая организация работ будет более дешевой и производительной, чем перекидки грунта экскаватором; кроме того, она будет более отвечать требованиям уплотнения грунта слоями.

При всех схемах угол поворота драглайна на разгрузку нужно брать возможно меньшим. Наименьший угол поворота при разработке узких, неглубоких каналов может доходить примерно до 15°.

§ 19. РАСПОЛОЖЕНИЕ ПУТЕЙ В ЗАБОЕ ПРИ ЭКСКАВАТОРНОЙ РАЗРАБОТКЕ

Отвозка грунта железнодорожным транспортом. Землевозные пути в забое располагают обычно по одной из четырех схем: а) кольцевой, б) двухпутной с вытяжным тупиком, в) однопутной с разъездами, г) тупиковой (рис.115).

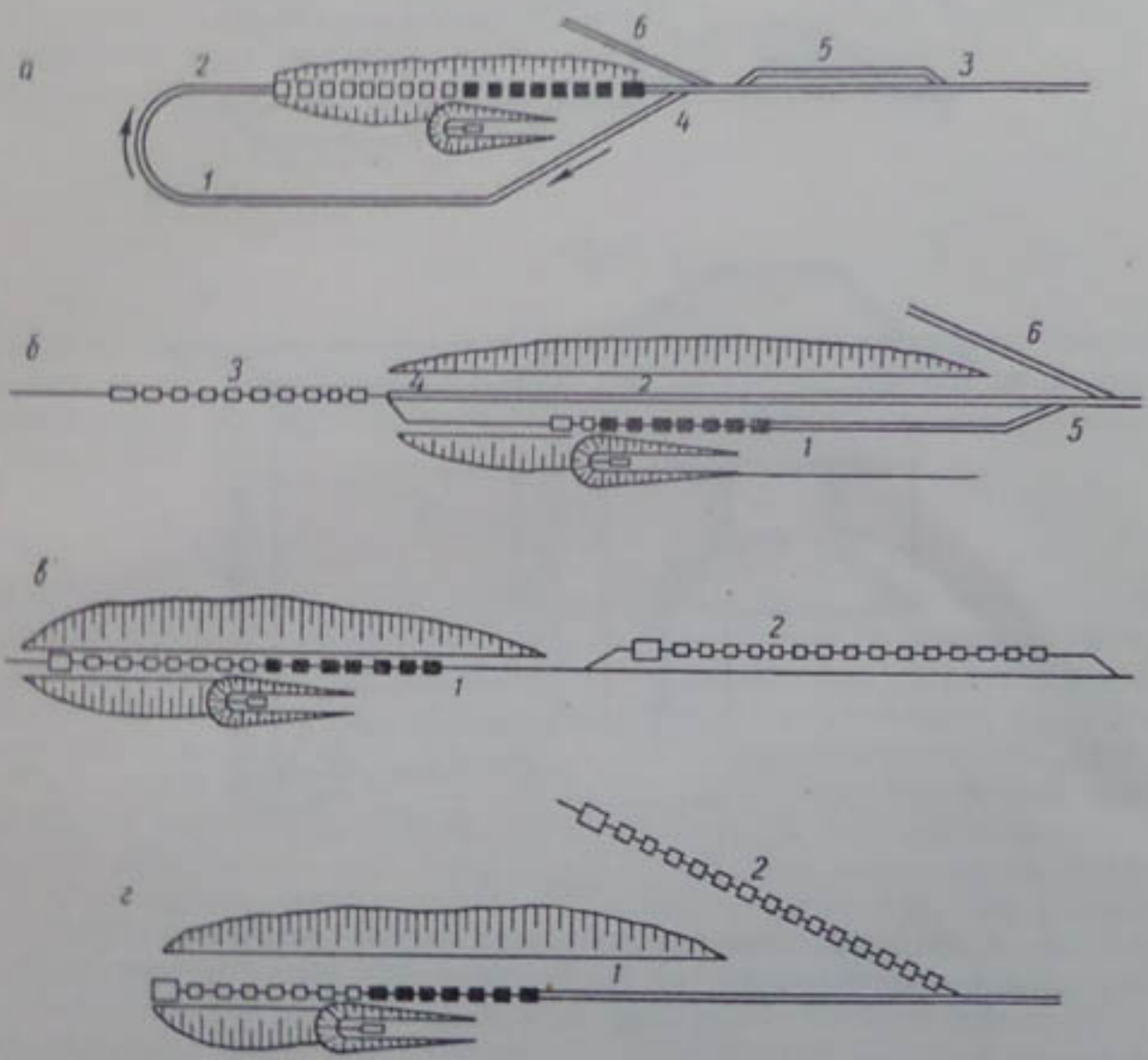


Рис. 115. Расположение железнодорожных путей в забое:
а—кольцевая схема: 1—кольцевой путь; 2—погрузочный путь; 3—главный путь (на нагрузку); 4—стрелка; 5—разъезд; 6—тупик для больных вагонов. б—двухпутная схема с вытяжным тупиком («рыбка»): 1—погрузочный путь; 2—обгоночный путь; 3—вытяжной тупик; 4 и 5—стрелки; 6—тупик для больных вагонов. в—однопутная схема с разъездом перед выемкой: 1—погрузочный путь; 2—разъезд. г—однопутная схема с тупиком перед выемкой: 1—погрузочный путь; 2—тупик.

Основным и крупным достоинством кольцевой схемы (рис. 115, *а*) является минимальное время на смену составов, что дает возможность максимально использовать рабочее время экскаватора. $K_{вр.см}$ экскаватора может быть доведен до 0,85—0,90 и более. Кольцевая схема может быть осуществлена без больших земляных работ только при благоприятных условиях рельефа и неглубоких выемках небольшой длины; застроенность территории также может помешать применению кольцевой схемы.

Так как минимальный радиус кривой для железной дороги нормальной колеи 200 *м*, а узкой колеи—60 *м*, то кольцевую схему чаще можно осу-

ществить при путях узкой колеи. Недостатком кольцевой схемы является затруднительность передвижения путей на кривых.

При кольцевой схеме положение паровоза в поезде постоянно меняется (то в голове его, то в хвосте) при каждой поездке. Вследствие постоянных передвижек путей на разгрузке как в плане, так и по высоте поддержание разгрузочных путей в хорошем состоянии весьма затруднительно. Поэтому необходимо, чтобы при подаче на разгрузку паровоз находился в хвосте поезда, а при возвращении с разгрузки был в голове его. Для этого необходимо в начале выемки делать разъезд *5*.

При двухпутной схеме с вытяжным тупиком (рис. 115, *б*) («рыбка») смена составов, как и в кольцевой схеме, занимает минимум времени (по нормам около 5 *мин*), так как требуется только осадить состав под экскаватор; однако нормативное время на смену может быть значительно сокращено.

При двухпутной схеме с вытяжным тупиком обеспечивается быстрая смена под экскаватором подвижных составов, требуется меньше рельсов, чем при кольцевой схеме, а маневры по перестановке паровоза являются излишними. Кроме того, применение этой схемы значительно меньше зависит от условий рельефа местности и характера выемки. Эту схему устройства путей на погрузке можно рекомендовать, как наиболее рациональную.

При однопутной схеме с разъездом перед выемкой (рис. 115, *в*) ограничиваются в забое только погрузочным путем *1*, а для порожняка, ожидающего очереди погрузки, нужно устроить в начале выемки разъезд *2*. Для смены состава при этой схеме придется сначала убрать с погрузочного пути нагруженный состав, и только после этого можно подать с разъезда *2* порожняк под погрузку. Потери времени на смену составов будут значительно больше, чем в предыдущих схемах, и тем больше, чем длиннее разрабатываемая выемка. Поэтому данную схему нельзя рекомендовать.

При однопутной схеме с тупиком перед выемкой (рис. 115, *г*) подача порожнего состава под погрузку может начаться после того, как груженый состав освободит погрузочный путь и уйдет к месту разгрузки.

Так как при вытяжке из тупика и подаче на погрузочный путь поезду нужно пройти еще больший путь, чем при схеме с разъездом, то коэффициент использования экскаватора во времени при этой схеме будет еще меньше, чем при однопутной схеме с разъездом. Устраивать пути по указанной схеме нерационально, так как коэффициент использования экскаваторов резко снижается по сравнению с кольцевой схемой и схемой «рыбка».

Отвозка грунта автомашинами. Транспортные пути наиболее рационально разбивать по кольцевой схеме. В целях уменьшения дальности возки иногда устраивают промежуточные съезды по откосам выемки (рис. 116).

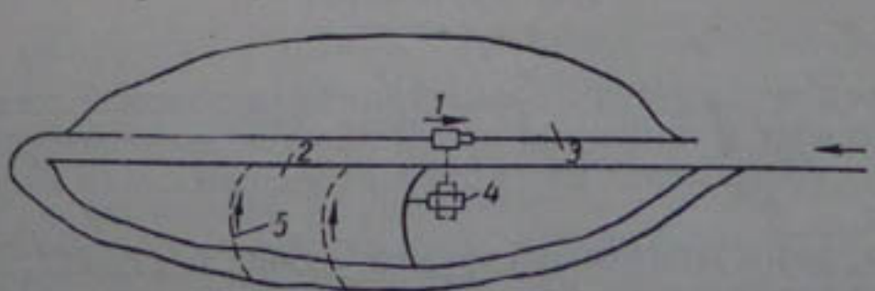


Рис. 116. Расположение дорог в забое:
1—автомашина; *2* неразработанная часть выемки; *3*—разработанная часть выемки; *4*—экскаватор; *5*—съезды.

Незначительная величина минимального радиуса поворота автомобилей $R=15\div25$ *м* и большие значения руководящих подъемов $i=0{,}060\div0{,}080$ делают кольцевую схему при автомобильном транспорте значительно более гибкой и простой, чем при железнодорожном. Кольцевая схема применяется как при разработке выемок, так и при разработке котлованов.

Направление движения машин при подаче их под погрузку должно быть встречным по отношению к направлению движения экскаватора с тем,

чтобы избежать переноски ковша экскаватора над кабиной машины; это предотвращает возможность повреждения кабины.

Перемещение грунта транспортерами. Ленточными транспортерами можно перемещать грунт при подъемах, доходящих до 20—22° ($i=0{,}36 \div 0{,}40$). Это чрезвычайно облегчает и упрощает устройство выездов из котлованов сооружений и из выемок каналов.

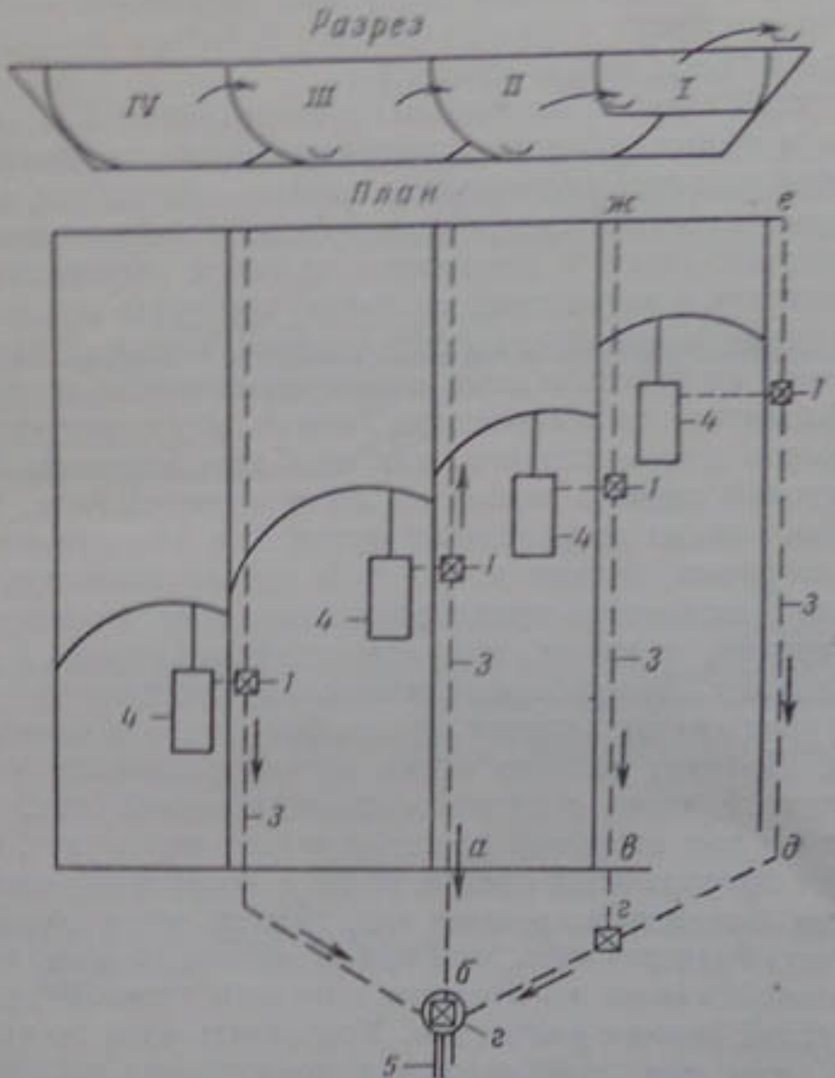


Рис. 117. Последовательная перестановка звеньевых ленточных транспортеров в соседний с экскаватором забой:
1—передвижной бункер; *2*—стационарный бункер; *3*—звеньевой транспортер; *4*—экскаватор; *5*—стационарный транспортер; *I, II, III, IV*—забои.

Применение для погрузки на ленточные транспортеры легких передвижных бункеров сводит к минимуму время простоя экскаваторов в ожидании транспорта, если время передвижки бункера укладывается в срок передвижки экскаватора.

Экскаватор, разрабатывающий грунт в забоях *I, II, III, IV* (рис. 117), грузит его через передвижной бункер *1* в звеньевой ленточный транспортер *3*; последний передает грунт на стационарный транспортер *5* через постоянный бункер *2* в начале выемки. Стационарным транспортером *5* грунт передается к месту разгрузки. Звеньевой транспортер *3* при каждом переходе экскаватора *4* в новый забой переносится на новое место в ранее разработанный забой; вместе с этим каждый раз перекладывают на новое место пути для передвижного бункера.

Для того чтобы не было задержек в работе экскаваторов при переходах в новый забой, необходимо заблаговременно укладывать начальные участки транспортеров. Пока экскаватор будет разрабатывать часть выемки, обслуживаемую этими отрезками транспортеров, можно успеть передвинуть остальной транспортер в новое положение.

Расположение в плане звеньевого транспортера определяется по формулам (60) или (60а).

Так как высота бункера около 2,5—3 *м* равна или несколько больше высоты грузовиков с бортами, то и глубина ступенчатых забоев несколько меньше, чем при отвозке грунта автомобилями.

Уменьшение погрузочной глубины является некоторым недостатком данной схемы, так как ступенчатые забои получаются более мелкими, а число их увеличивается. В связи с выпуском бункеров небольшой высоты (1,8 *м*) указанный недостаток можно устранить.

Вторым недостатком данной схемы является большое число передвижек звеньевых транспортеров и перекладок путей под передвижные бункеры.

При заблаговременной укладке в забое звеньев транспортеров и путей для передвижного бункера и при содержании транспортеров в исправном состоянии можно, работая по этой схеме, обеспечить бесперебойную отвозку грунта от экскаватора с высоким значением коэффициента использования экскаватора во времени. Это большое ее достоинство.

§ 20. УСТРОЙСТВО ТРАНСПОРТНЫХ ПУТЕЙ НА РАЗГРУЗКЕ

Железнодорожный транспорт. Для организации бесперебойной разгрузки на земляных плотинах и в кавальерах необходимо предусмотреть устройство нескольких путей с тем, чтобы на одних из них в данный момент

Рис. 118. Тупиковая схема подачи грунта на плотину железнодорожным транспортом.

производилась разгрузка, а другие в это время перекладывались, поднимались и рехтовались (рис. 118). Число путей, на которых одновременно производится разгрузка грунта, зависит от числа пар поездов в смену, от времени занятия пути поездом и определяется расчетом. Число путей, подготовляемых к перекладке, определяется из условия, чтобы к моменту окончания использования разгрузочной возможности пути, на котором происходит разгрузка, подготовляемый путь был уже готов к пропуску поезда.

При возведении дамб и плотин из глинистых переувлажненных грунтов необходимо предусмотреть еще дополнительные разгрузочные пути с тем, чтобы дать время выдержать в отвале переувлажненные грунты до их просыхания. Наименьшее расстояние между разгрузочными путями широкой колеи принимается 7,8 *м*.

Разгрузочная возможность пути зависит от высоты насыпи. Если грунт убирается в насыпь только путем подъемок пути, то на 1 пог. *м* может быть выгружено около 4 $м^3$ грунта.

Для повышения разгрузочной способности пути устраивают пионерные насыпи.

Однако высота насыпи, с которой производится разгрузка грунта, ограничена. При насыпке кавальеров и отвалов и наличии высокой насыпи возникает опасение за устойчивость пути при передвижке его к краю насыпи. Поэтому насыпь по высоте не следует делать больше 5—8 *м*.

На строительстве канала имени Москвы для первого пионерного пути при устройстве отвалов делалась предварительно насыпь высотой 3—4 *м*, шириной по верху 3,5 *м*. Укладка первого пути прямо на грунт производилась лишь в исключительных случаях. Вследствие необходимости постоянных передвижек и подъемок железнодорожных путей на разгрузке они обычно устанавливаются без балластировки; в совокупности с частыми передвижками и подъемками путей это приводит к тому, что на разгрузочных путях нередко поезда сходят с рельсов. Поэтому здесь должна быть налажена быстрая подъемка сошедших с рельсов вагонов.

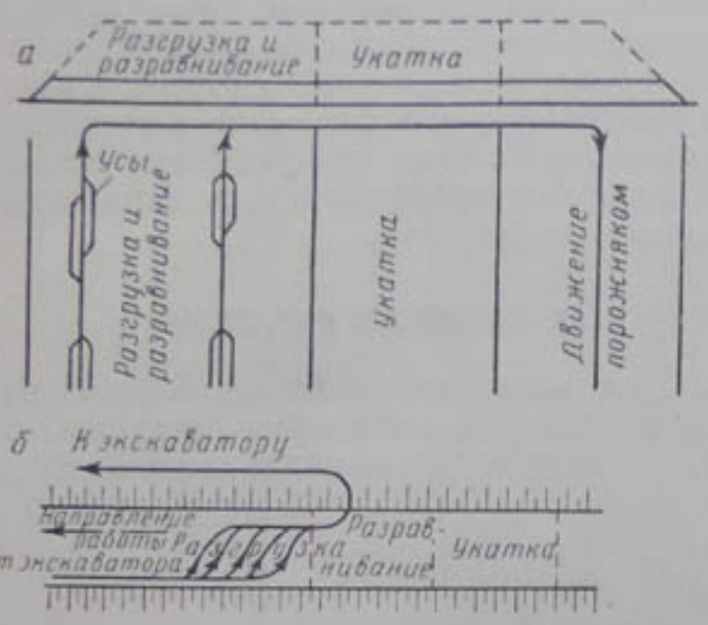


Рис. 119. Последовательность операций:
а—по подаче грунта на плотину, разравниванию его и укатке; *б*—по подаче в неширокую насыпь при достаточной длине фронта разгрузки.

Опыт показал, что при продолжительной эксплуатации путей балластировка всегда окупается и что балластировать необходимо и выгодно все пути, которые лежат на месте более двух недель.

Во избежание неравномерного уплотнения плотины каждая последующая пионерная насыпь должна занимать новое положение в плане с обязательным смещением оси нового пути по отношению к оси старого. Устройство новой пионерной насыпи может быть заменено постепенной подъемкой пути, производимой до тех пор, пока пионерная насыпь не достигнет требуемой высоты.

Так как уплотнение насыпи у обоих откосов плотины получается недостаточным, то ее делают с некоторым запасом по ширине, около 0,5 *м*, впоследствии срезаемым. Грунт срезки может быть использован для возведения верхних частей плотин.

Подобная же схема работ может быть сохранена и при работе в кавальеры и отвалы с соответствующими, конечно, упрощениями.

Для уменьшения числа передвижек путей целесообразно применять отвальные плуги, работающие по принципу снегоочистителя, присоединенные к особому вагону и отодвигающие грунт на расстояние 2—5 *м*.

Автомобильный транспорт. Схема организации работ по отсыпке земляных плотин представлена на рисунке 119, *а*. Разгрузка, во избежание задержки последующих машин, производится на ответвлениях, на которых также укладываются переносные автодороги. Грунт, разгружаемый с автомашин, разравнивается бульдозерами или грейдерами; расстояние между автотранспортными путями назначается из расчета, чтобы грунта хватило для образования одного слоя для уплотнения.

При кольцевом движении автомашин плотина разделяется по ширине на ряд участков, на одном из которых происходит разгрузка грунта и его разравнивание, на другом—укатка, а на третьем—обратное движение порожняка по укатанному слою.

При возведении дамб схема несколько изменяется, так как вследствие узости дамб участки для отдельного вида работ приходится развивать в продольном, а не в поперечном направлении (рис. 119, *б*).

При отсыпке канальеров и отвалов без уплотнения отпадает требование о толщине отдельных слоев.

Если разрабатываемый экскаватором грунт неоднороден и часть его не удовлетворяет техническим условиям для возведения качественных насыпей, то приходится сортировать грунт и некоторые автомашины направлять в насыпь, а другие—в отвал.

Подача грунта на разгрузку ленточными транспортерами. Основными факторами, предопределяющими организацию разгрузочных работ при отсыпке дамб и земляных плотин ленточными транспортерами, являются:

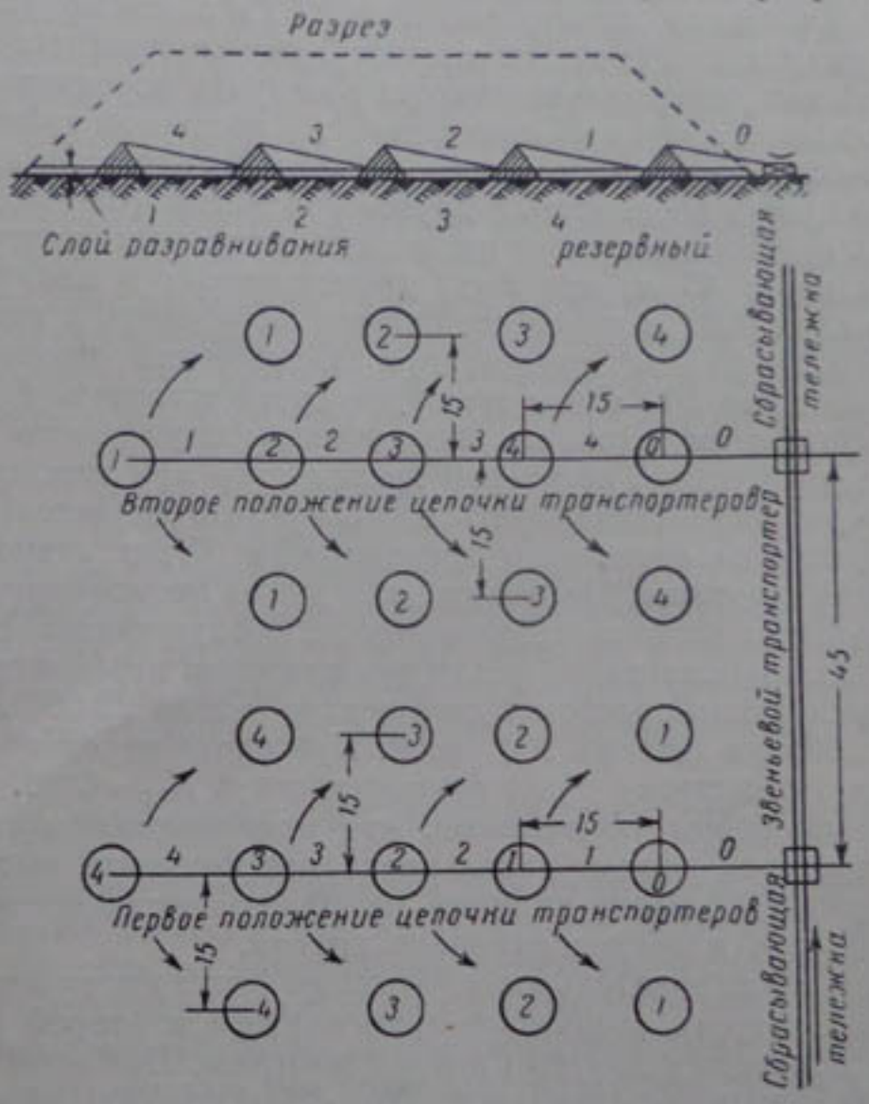


Рис. 120. Схема подачи грунта на плотину цепочками передвижных ленточных транспортеров: *0, 1, 2, 3, 4*—передвижные транспортеры; кружки с цифрами—конуса, отсыпаемые передвижными транспортерами данного номера.

1) переменность мест отсыпки; 2) необходимость послойной отсыпки и уплотнения; 3) неизбежность перерывов для разравнивания отсыпанного на данную площадь грунта и его уплотнения.

Грунт подается от экскаватора звеньевым транспортером, прокладываемым вдоль отсыпаемой земляной плотины (рис. 120). Сбрасывающей тележкой грунт передается на цепочку передвижных транспортеров, расположенную поперек плотины. Работы ведутся в следующем порядке. Сначала последний транспортер *4* отсыпает с одной стоянки три конуса *4*, *4* и *4*. Затем транспортером *3* отсыпаются три конуса *3*, *3* и *3*, а транспортер *4* передвигается на следующее (второе) положение транспортерной цепочки, но ставится в и чале ее.

По окончании работы транспортер *3* переносится и устанавливается рядом с новым положением транспортера *4* и т. д. Если иметь один резервный транспортер *0*, то к тому времени, когда начнет работать транспортер *0*

первой цепочки, следующая цепочка транспортеров будет готова к работе и перерыв в подаче грунта будет иметь место только на время, необходимое для передвижки сбрасывающей тележки. По окончании работы транспортеров на данном участке грунт из конусов разравнивается слоями по плотине бульдозерами, а затем укатывается.

Для передвижного транспортера с лентой длиной 15 *м* при углах наклона ленты к горизонту от 10 до 20° расстояние между центрами отсыпаемых конусов изменяется в пределах 14,1÷14,8 *м*, а с учетом инерционного отбрасывания грунта—около 15 *м*. При площади обслуживания одного конуса 225 $м^2$ и толщине отсыпаемого слоя 0,20 *м* объем конуса должен быть равен 45 $м^3$, чему при одиночных откосах будет соответствовать высота конуса 3,5 *м*. Так как максимальная высота разгрузки передвижного транспортера 5 *м*, то отсыпка конуса обеспечивается, а звеньевой транспортер может оставаться на одном месте при отсыпке нескольких слоев земляной плотины, после чего его нужно переносить в другое положение (по высоте и в плане).

При такой организации работ цепочки передвижных транспортеров будут располагаться через 45 *м*; при пяти транспортерах в цепочке и толщине уплотняемого слоя 0,20 *м* через нее следует передавать в каждом ее положении 75·45·0,20=675 $м^3$ грунта; при каталожной производительности звеньевого транспорта 200 $м^3/час$ это будет соответствовать работе в течение 3,4 часа. Каталожная скорость передвижки плужкового сбрасывателя 0,17 *м/сек*; следовательно, звеньевой транспортер при каждом новом положении цепочки должен останавливаться на 5 *мин*, что соответствует $K_{вр}=0,97$.

Срок передвижки звеньевого транспортера будет зависеть от длины цепочки и длины плотины. Например, при длине отсыпаемого участка плотины 250 *м*, цепочке из пяти транспортеров, обслуживании с одного положения звеньевых транспортеров шести перестановок передвижных транспортеров. звеньевым транспортером будет подано около 22 000 $м^3$ грунта, что соответствует работе в течение 100 часов. При сроке передвижки звеньевого транспортера в 4 часа этому будет соответствовать $K_{вр}=0,96$.

Приведенные цифры показывают, что при исправном состоянии ленточных транспортеров данная схема позволяет получить высокое значение $K_{вр}$; это оказывает большое влияние на производительность и стоимость как экскавации, так и транспортировки грунта.

Увеличение производительности отсыпки плотины может быть достигнуто установкой второго звеньевого транспортера и второй цепочки передвижных транспортеров с другой стороны плотины. При этом суточная производительность отсыпки получается 200·2·24·0,9≅9000 $м^3/сутки$. Фактическая средняя производительность при постройке земляной плотины на р. Истре составляла 5000—6000 $м^3/сутки$ при максимуме в 10 000—11 000 $м^3/сутки$; на другой плотине с применением более широкой механизации средняя производительность доходила до 8500 $м^3/сутки$.

Рассмотренная схема может быть применена не только при возведении земляных плотин и дамб, но и при отсыпке кавальеров и отвалов.

Эстакадная схема. Вдоль возводимой насыпи устраивают эстакаду и по ней укладывают транспортер, с которого грунт сбрасывается вдоль эстакады, разравнивается бульдозерами или грейдерами, а затем укатывается катками. Продольные и поперечные связи эстакады, по мере роста насыпи в высоту, снимаются, а вертикальные стойки и подкосы остаются в теле сооружения. Ввиду незначительного объема их не приходится ожидать сколько-нибудь значительных деформаций и фильтрации насыпи после сгнивания оставшегося в плотине дерева, так как в поперечном сечении имеются только отдельные сваи и притом только в средней части сечения (нет сплошной цепочки поперек плотины). Хотя оставление дерева в напорных земляных сооружениях вообще не разрешается, но в данном случае это не может принести вреда сооружению. На Иваньковской плотине, воздвигавшейся гидромеханическим способом, вертикальные сваи, поддерживавшие пульповоды, были оставлены в грунте и неприятных последствий это не вызвало.

Для возможности уплотнения грунта катками в пределах самой эстакады ее конструкция должна допускать проезд под ней тракторов и катков. Поэтому в продольном направлении не должно быть диагональных связей и раскосов, вместо них должны быть поставлены горизонтальные связи. Последние по мере отсыпки насыпи должны переставляться по высоте с тем, чтобы не препятствовать проезду тракторов, катков и разравнивающих машин. Уплотнение около оставляемых в земле стоек и подкосов должно вестись легкими взрывными трамбовками.

При использовании ленточных транспортеров эстакады получаются значительно более легкими, чем при железнодорожном и автомобильном движении; количество леса, потребного для эстакады, уменьшается. Если эстакаду делать не сразу на всю высоту, а ярусами, то в этом случае можно вытаскивать и вертикальные стойки (после разборки связей), однако при этом нужно перекладывать несколько раз ленточный транспортер.

Отсыпка насыпей транспортерами с эстакад может быть применена для отвалов, кавальеров и в крайнем случае, при соблюдении указанных выше предосторожностей, для возведения земляных плотин.

Непосредственная подача грунта в насыпи каналов драглайном обходится значительно дешевле, чем при подаче грунта транспортом; однако при подаче грунта не в кавальер, а в дамбу получается несогласованность с требованиями возведения дамб тонкими слоями 0,15—0,20 *м* с послойным уплотнением. Такие случаи возникают при постройке рабочей части магистральных каналов, а также распределительных каналов и ограждающих дамб.

Если драглайн будет разрабатывать выемку (или резерв) последовательными проходками, то передвижки экскаватора возрастут и работа удорожится. В таких случаях может быть применено устройство вместо дамб широких кавальеров с экраном, что применялось и вполне себя оправдало на строительстве канала имени Москвы; эта схема может быть применена при значительном превышении объема выемки по сравнению с кубатурой дамб.

§ 21. РАЗРАВНИВАНИЕ ГРУНТОВ ПОСЛЕ ИХ РАЗГРУЗКИ

Грунт, разгружаемый с поездов, автомобилей и ленточных транспортеров, укладывают либо валами вдоль фронта разгрузки, либо отдельными кучками. Между тем по техническим условиям на возведение качественных насыпей грунт должен укладываться слоями небольшой толщины с уплотнением каждого слоя. Поэтому после разгрузки грунта необходимо разравнивать его, что вместе с тем позволяет увеличить удельный объем грунта на единицу длины фронта разгрузки.

Разравнивать грунт надо также при разгрузке его в кавальеры.

При своевременном разравнивании разгружаемого грунта можно реже перекладывать железнодорожные и автомобильные пути.

Выбор механизмов, применяемых для разравнивания, зависит от способа подачи грунта на разгрузку. При наличии железнодорожного транспорта можно разравнивать грунт путевым отвальным плугом, работающим как дорожный снегоочиститель.

При доставке грунта на разгрузку автомобилями или ленточными транспортерами для разравнивания применяют бульдозеры, ножевые грейдеры.

§ 22. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ РАСЧЕТОВ ПРИ ЭКСКАВАТОРНЫХ РАБОТАХ

Задача транспортных расчетов при экскаваторных работах состоит в определении необходимого числа транспортных единиц (составов поездов, автомашин) для бесперебойного обслуживания экскаватора.

Для решения задачи нужно на основе тяговых расчетов определить количество единиц в составе поезда или число прицепов к автосамосвалам, а также руководящие подъемы пути и радиусы закруглений.

Существенное значение в расчетах транспорта имеет дальность возки. С первого взгляда может показаться, что она легко определяется как расстояние между центром тяжести выемки и центром тяжести насыпи или отвала. В действительности же во время работы непрерывно меняется как положение экскаватора, так и пункты разгрузки, поэтому изменяется и дальность возки.

Если брать за основу транспортных расчетов недопущение простоев экскаватора как машины, выполняющей ведущий процесс цикла, то из различных значений дальности возки в разные моменты работ за расчетную нужно брать максимальную дальность $L_{макс}$. В те периоды работ, когда действительная дальность $L < L_{макс}$, транспортные приборы будут простаивать, но зато экскаватор будет всегда обеспечен необходимым количеством подвижного состава. Такое решение экономически невыгодно, так как стоимость транспортирования грунта составляет основную часть стоимости комплекса экскаваторных работ.

Если за расчетную длину взять $L_{ср}$, то в те периоды работ, когда действительная дальность возки $L < L_{ср}$, составы будут простаивать, а при $L > L_{ср}$ будет простаивать экскаватор, что недопустимо при правильной организации экскаваторных работ.

При автомобильной отвозке обычно применяется кольцевое движение и поэтому за расчетную дальность возки следует брать длину полукольца, т. е.

$$L = \frac{(L_{гр} + L_{пор})}{2},$$

где $L_{гр}$ и $L_{пор}$ — длина хода груженых и порожних автомашин.

Если в проекте организации работ предусмотрены изменения дальности возки во время разработки данной выемки, например перевод автомобилей с одного съезда на другой, следует предвидеть соответствующее изменение числа обслуживающих экскаватор автомашин.

Железнодорожная отвозка имеет свои особенности, которые должны быть учтены при назначении L; к ним относятся:

1) длина поезда (100—200 *м*) значительно длиннее автомобиля, даже при работе последнего с прицепом; это должно быть учтено при определении $L_{гр}$ и $L_{пор}$;

2) место ожидания поездом смены под погрузку находится на большем расстоянии от экскаватора, чем при автомобильной отвозке грунта;

3) расстояния, проходимые автомобилями по временным разгрузочным путям, много короче, чем при железнодорожной отвозке.

Скорость движения поезда по главному пути $v_{пут} = 10 \div 22$ *км/час*, а по разгрузочным путям $v_{ман} = 5$ *км/час*; поэтому для определения времени движения поезда необходимо разграничивать движения по главному и по разгрузочным путям. Ввиду этого следует считать длину груженого пробега $L_{гр}$—от места погрузки поезда до стрелки у свалки, а длину пробега порожняка $L_{пор}$—от стрелки у свалки до места ожидания поезда при смене состава у экскаватора (рис. 121). Расстояние, определяющее расчетную дальность возки,

$$L_{дал} = \frac{L_{гр} + L_{пор}}{2},$$

поезд будет проходить с путевой скоростью $v_{пут}$. Время движения поезда по свалке с маневренной скоростью $v_{ман}$ учитываем при исчислении времени разгрузки состава, а время, затрачиваемое на подачу состава от места ожидания к месту погрузки,—при определении времени погрузки состава.

Прежде чем перейти к транспортным расчетам, поясним, что нужно понимать под расчетной производительностью экскаватора. Так как задачей транспортных расчетов является обеспечение бесперебойной работы экскаватора, то за расчетную производительность экскаватора следует принимать производитель-

ность в часы чистой работы, что выше средней производительности экскаватора в течение смены, так как коэффициент использования экскаватора во времени в течение, например, одного часа работы больше коэффициента использования экскаватора во времени в течение смены.

Рис. 121. Схема железнодорожной отвозки грунта при экскаваторных работах.

Нельзя принимать сменную производительность экскаватора за расчетную и по ней определять число транспортных единиц; такой расчет приводит к тому, что во время наиболее интенсивной работы экскаватора он не будет обеспечен необходимым числом транспортных приборов и будет простаивать в ожидании транспорта. Подобное положение наблюдается на ряде строек, простои из-за недостатка транспорта составляют обычно наибольшую долю общего времени простоев экскаватора.

§ 23. РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ ПРИБОРОВ И ВРЕМЕНИ ПОГРУЗКИ

В основу расчета, определяющего число транспортных приборов, положен следующий принцип: экскаватор не должен иметь простоев в ожидании подачи транспортных приборов. Для этого **необходимо, чтобы в тот промежуток времени, в который нагруженный состав или самосвал дойдет до места разгрузки, разгрузится и возвратится к месту ожидания порожняка у экскаватора, остальные поезда (автомашины), обслуживающие экскаватор, были им погружены.** При соблюдении этого условия обеспечивается бесперебойная работа экскаватора, за исключением простоев его во время смены составов. Это положение может быть выражено следующим уравнением:

$$(N_c - 1)\,T_{пог} = \frac{2L}{v_{пут}} + T_{разг} + T_{зад} = T_{пут} + T_{разг} + T_{зад}, \qquad (70)$$

где N_c — искомое число составов (автомашин);

$T_{пог}$ — полное время, затрачиваемое экскаватором на погрузку, учитывающее как время фактической погрузки $t_{пог}$, так и время, необходимое на маневры при смене составов $t_{ман}$, а также время последовательной замены у экскаватора одной платформы поезда другой $t_{см}$ (или замены автомобиля на прицеп при работе автомашин с прицепами);

$T_{разг}$ — время разгрузки состава, учитывающее как время фактической разгрузки, так и время в пути от стрелки у свалки до места разгрузки состава и обратно при маневровой скорости движения:

$$T_{разг} = t_{разг} + \frac{2l}{v_{ман}};$$

$t_{разг}$ — время фактической разгрузки состава;

l — расстояние, проходимое составом от разъезда перед свалкой до места разгрузки;

$v_{ман}$ — маневровая скорость движения поезда или автомашины;

L — расчетная дальность возки, равная $\frac{L_{гр}+L_{пор}}{2}$, определяемая как указано в предыдущем параграфе;

$v_{пут}$ — путевая скорость, определяемая дальностью возки, типом и состоянием дорог;

$T_{пут}$ — время нахождения состава в пути, определяется по нормам;

$T_{зад}$ — время на задержки поезда (автомашины) в пути.

Из уравнения (70) можно определить число составов:

$$N_c = \frac{\frac{2L}{v_{пут}} + T_{разг} + T_{зад}}{T_{пог}} + 1 = \frac{T_{пут} + T_{разг} + T_{зад}}{T_{пог}} + 1. \quad (71)$$

При хорошей организации движения поездов $T_{зад} = 0$ и уравнение (71) получает вид:

$$N_c = \frac{\frac{2L}{v_{пут}} + T_{разг}}{T_{пог}} + 1 = \frac{T_{пут} + T_{разг}}{T_{пог}} + 1. \quad (71а)$$

Формулу (71а) можно представить и в другом виде:

$$N_c = \frac{T_{пут} + T_{разг} + T_{пог}}{T_{пог}} + \frac{T_{об}}{T_{пог}}, \quad (72)$$

где $T_{об}$ — время оборота состава.

Рассмотрим расчет времени погрузки $T_{погр}$ на различные транспортные приборы.

Железнодорожный транспорт широкой колеи. Время, которое затрачивается экскаватором на погрузку железнодорожного состава, включая простои экскаватора при смене составов и отдельных платформ $T_{пог}$, можно определить по следующей формуле:

$$T_{пог} = t_{пог} + t_{ман} + (t_{см} - 0{,}93t_{ц})(n-1), \quad (73)$$

где $t_{ц}$ — время цикла экскаватора;

n — число платформ в поезде.

Если грузоподъемность платформы $Г$ выражается в кубических метрах (в плотном теле), то количество ковшей, погружаемых на платформу, составляет:

$$m_{ков} = \frac{Г}{VK_{нап}K_{разр}}, \quad (74)$$

где V — емкость ковша экскаватора.

Если грузоподъемность транспортных приборов $Г$ выражается в тоннах, то

$$m_{ков} = \frac{Г}{V\gamma K_{нап}K_{разр}}, \quad (74а)$$

где γ — объемный вес грунта в плотном теле.

Так как $m_{ков}$ получается обычно дробным числом, то его следует округлять до ближайшего целого числа, выражающего число экскавации $m_{эк}$. Отношение $\frac{m_{ков}}{m_{эк}}$ назовем $K_{тр}$:

$$K_{тр} = \frac{m_{ков}}{m_{эк}}. \quad (75)$$

Определив $m_{эк}$, можно найти $t_{пог}$ по формуле:

$$t_{пог} = \frac{t_{ц}m_{эк}^{n}}{K_{вр}'}, \quad (76)$$

где $K'_{вр}$ — коэффициент использования экскаватора во времени за период погрузки, учитывающий возможные за это время простои; $K'_{вр}$ можно принять равным 0,96.

Второй член формулы (73) учитывает время на замену одного поезда (автомашины) другим, а третий — смену отдельных платформ у экскаватора в предположении, что часть времени смены, равная $0{,}93\,t_ц$, используется экскаваторным механиком во время смены на набор грунта и оба поворота.

Формула (73) действительна в предположении, что:

$$t_{маи} > t_{пер} \quad \text{и} \quad V_{заб} > V_{поезд},$$

где $t_{пер}$ — время на передвижку экскаватора;

$V_{заб}$ — объем забоя, разрабатываемый с одной стоянки экскаватора;

$V_{поезд}$ — объем грунта, помещающийся в поезде.

Первое условие означает, что за время смены составов экскаватор успевает сделать передвижку. У экскаваторов на гусеничном ходу $t_{пер} = 2 \div 3$ *мин* — для грунтов I — IV категорий и $t_{пер} = 4$ *мин* — для грунтов V — VI категорий. Так как при железнодорожном транспорте широкой колеи $t_{маи} = 5 \div 10$ *мин*, то первое условие удовлетворяется для гусеничных экскаваторов при разработке грунтов всех категорий.

Второе условие означает, что после передвижки экскаватора при смене составов его не придется вновь передвигать во время погрузки, что имеет место, если объем грунта, помещающегося в поезде, меньше объема грунта, разрабатываемого экскаватором с одной стоянки. В противном случае для нагрузки поезда грунтом экскаватор должен сделать в процессе погрузки еще одну передвижку.

Если время, затрачиваемое на маневры по смене поездов, больше времени передвижки экскаватора, но объем забоя, разрабатываемого с одной стоянки экскаватора, меньше объема грунта в поезде, то уравнение (73) должно быть заменено следующим:

$$T_{пог} = t_{пог} + t_{маи} + t_{пер} + (t_{см} - 0{,}93t_ц)\,(n-1). \qquad (77)$$

Таким образом, формула (73) применима при разработке высоких забоев экскаваторами на гусеничном ходу, когда время маневров при смене поездов больше времени передвижки, а объем забоя, разрабатываемый с одной стоянки, больше объема грунта в поезде. Формула (77) применима для гусеничных экскаваторов при невысоких забоях, когда время маневров больше времени передвижки, но объем забоя, разрабатываемый с одной стоянки, меньше объема грунта в поезде.

Железнодорожный транспорт узкой колеи характеризуется следующими особенностями по сравнению с ширококолейным.

1. Время $t_{маи}$ в нормальных условиях равно 2 *мин* и, следовательно, меньше, чем $t_{пер}$ у экскаваторов на гусеничном ходу, кроме случая разработки грунтов I—II категорий этими же экскаваторами, когда $t_{маи} = t_{пер}$.

2. Объем поезда в несколько раз меньше объема поезда широкой колеи и сильно изменяется в зависимости от мощности паровоза и подъема пути в грузовом направлении.

При $t_{пер} > t_{маи}$ и при объеме забоя, лишь немного превышающем объем поезда, когда нужно при каждой смене составов производить передвижку экскаватора, для определения $T_{пог}$ следует применять формулу:

$$T_{пог} = t_{пог} + t_{пер} + (t_{см} - 0{,}93t_ц)\,(n-1). \qquad (78)$$

Если объем грунта в поезде в несколько раз меньше, чем объем забоя, то передвижку экскаватора нужно производить не при каждой смене поезда, а через несколько смен. Поэтому второй член формулы (78) должен быть равен

$$t_{маи} + \frac{t_{пер}}{a}, \qquad (79)$$

где a — число нагружаемых поездов с одной стоянки экскаватора.

Так как численное значение величины $\frac{t_{пер}}{a}$ невелико, то влияние ее на число необходимых составов незначительно. Поэтому его можно не учитывать, тем более, что получаемое по расчету обычно дробное число составов приходится округлять до ближайшего целого числа.

В силу этого для расчета следует применять формулу (73) вместо (78). Если $t_{ман} = t_{пер}$, также следует применять формулу (73).

Автомобильный транспорт (без прицепов). При хорошей организации работ $t_{ман}$ не должно превышать 0,5 *мин*, но при плохой организации работы $t_{ман}$ доходит до 1—2 *мин*. Во всяком случае, $t_{ман}$ значительно меньше $t_{пер}$. Однако объем грунта в автомашине в десятки раз меньше объема забоя, разрабатываемого с одной стоянки, и передвижку экскаватора нужно делать после погрузки нескольких десятков автомашин. Поэтому при автотранспорте $T_{пог}$ определяется по формуле:

$$T_{пог} = t_{пог} + (t_{ман} - 0{,}93t_{ц}). \tag{80}$$

Если

$$t_{ман} = 0{,}93t_{ц}, \text{ то } T_{пог} = t_{пог} \text{ и } K_{вр.\ см} = \frac{t_{пог}}{T_{пог}} = 1.$$

В этом случае экскаватор совсем не теряет времени на смену автомашин; получается как бы конвейерная их подача.

Отметим, что $K_{вр.\ см}$ — это коэффициент, учитывающий простои экскаваторов во время смены составов, и что коэффициент использования экскаватора во времени в течение смены

$$K_{вр} = K_{вр.\ см} K_{вр.\ техн},$$

где $K_{вр.\ техн}$ — коэффициент использования экскаватора во времени в связи с необходимыми технологическими простоями экскаватора (при условии отсутствия простоев из-за производственных неполадок).

Автомобильный транспорт с прицепами. В этом случае простои экскаватора при погрузке состоят из времени при смене одного автомобиля с прицепом на другой и из времени при смене у экскаватора автомобиля на прицеп. Необходимо, однако, учесть, что время для подачи прицепа вместо автомобиля на 8—10 *сек* меньше, чем $0{,}93t_{ц}$. Поэтому к тому моменту, когда будет произведена замена автомобиля на прицеп, экскаватор успеет набрать ковш и повернуть его к месту разгрузки. Таким образом, замена прицепом автомобиля не будет связана с простоем экскаватора.

Значение $T_{пог}$ определяется по формуле:

$$T_{пог} = t_{пог.\ ав} + t_{пог.\ пр} + (t_{ман} - 0{,}93t_{ц}) = t_{пог} + (t_{ман} - 0{,}93t_{ц}). \tag{81}$$

Время погрузки автомобиля с прицепом должно вычисляться отдельно для машины и прицепа.

При определении $T_{пог}$ для драглайнов вместо $0{,}93t_{ц}$ следует принимать $0{,}96t_{ц}$, так как разгрузка занимает 4% от времени цикла.

Погрузка грунта в автомобиль через бункер. Для равномерной подачи грунта бункера снабжаются питателями, производительность которых $П_{пит}$ и определяет время погрузки автомашины. Для того, чтобы не было задержек в работе экскаватора, $П_{пит} t_{пог}$ должно быть равно или больше $П_{эк} T_{пог}$; в этом случае $t_{пог}$ зависит только от производительности питателя, поскольку экскаватор будет обеспечивать подачу в бункер достаточного количества грунта. Так как

$$\frac{t_{пог}}{T_{пог}} = K_{вр.\ см},$$

то

$$П_{пит} = \frac{П_{эк}}{K_{вр.\ см}}, \quad \text{а} \quad t_{пог} = \frac{V_{ав}}{П_{пит}} = \frac{V_{ав}}{П_{эк}} K_{вр.\ см}. \tag{82}$$

Коэффициент $K_{вр.\,см}$ меньше единицы и погрузка автомашины через бункер производится быстрее, чем прямая погрузка в автомашину, если, конечно, соблюдено указанное выше условие; поэтому производительность экскаватора при погрузке автомашины через бункер возрастает, так как потери времени на ожидание смены составов отпадают.

По формулам (72)—(80) подсчитывается количество транспортных средств, находящихся в работе. Кроме того, нужно предвидеть дополнительное количество паровозов взамен маневровых, толкачей и находящихся в ремонте, в промывке и т. д. Запасное количество платформ можно принять равным 10—15% от числа работающих. При работе с автотранспортом можно считать, что 80% всего парка должно быть в рабочем состоянии.

§ 24. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЭКСКАВАТОРОВ И СТОИМОСТЬ ЭКСКАВАЦИИ

Различают теоретическую, техническую и эксплуатационную производительность экскаваторов. Теоретическая производительность $П_{теор}$ численно равна возможной производительности экскаватора при непрерывной работе в отвал в расчетном грунте и забое при угле поворота 90°:

$$П_{теор} = 60\,VnK_{разр}\ м^3/час,$$

где V — геометрическая емкость ковша в $м^3$,

n — конструктивно-расчетное число циклов в 1 минуту; потери рабочего времени не учитываются.

Техническая производительность $П_{тех}$ — максимально возможная для данного экскаватора производительность при непрерывной работе в данных условиях, отражаемых коэффициентами $K_{нап}$, $K_{разр}$ и влиянием продолжительности цикла $K_{ц}$:

$$П_{тех} = 60VnK_{нап}K_{разр}K_{ц}.$$

Эксплуатационная производительность экскаватора $П_{эк}$ отражает использование экскаватора во времени и характер его работы — в отвал или на транспорт.

Работа в отвал. Производительность экскаваторов $П$ определяется произведением объема грунта в плотном теле, забираемого ковшом при каждой экскавации ($VK_{нап}K_{разр}$), на число циклов экскаватора в течение смены ($480n_{ц}K_{вр.\,техн}$) с учетом интенсивности работы экскаватора $K_{упл.\,вр}$. Таким образом:

$$П = 480Vn_{ц}K_{упл.\,вр}K_{вр.\,техн}K_{нап}K_{разр}\ м^3/смену, \qquad (82)$$

где 480 — число минут в восьмичасовой смене;

V — геометрическая емкость ковша экскаватора в $м^3$;

$n_{ц}$ — число циклов экскаватора в минуту, определяемое по паспортным характеристикам экскаватора или нормативам;

$K_{нап}$, $K_{разр}$ — коэффициенты наполнения ковша и разрыхления грунта.

При определении $n_{ц}$ следует учитывать угол поворота стрелы экскаватора в процессе работы. Для значений угла поворота, отличающихся от 90°, можно вводить поправку на время цикла, пользуясь данными таблицы 12. Коэффициенты $K_{нап}$, $K_{разр}$ берутся по нормам. Коэффициент $K_{вр.\,техн}$ следует применять равным 0,81—0,94 при одно- и двухсменной работе экскаваторов, а при трехсменной — в зависимости от организации рабочей смены — от 0,74 до 0,83 (см. § 27).

Работа на транспорт. Производительность экскаватора определяется по формуле:

$$П = 480Vn_{ц}K_{упл.\,вр}K_{вр}K_{нап}K_{разр}K_{тр}\ м^3/смену \qquad (83)$$

Отличие формулы (83) от формулы (82) сводится к следующему: 1) вместо $K_{вр.\,техн}$ в формулу входит $K_{вр} = K_{вр.\,техн}K_{вр.\,см}$ (при отсутствии

простоев производственного характера); 2) в формулу входит коэффициент $K_{тр}$, учитывающий, что при наполнении транспортных приборов до полной их грузоподъемности некоторые ковши приходится набирать неполными.

При работе экскаватора с погрузкой в бункер, если время передвижки бункера укладывается в срок передвижки экскаватора, $K_{вр.\,см} = 1$ и $K_{тр} = 1$. В этом случае формула (83) идентична формуле (82) для работы в отвал. Так как $K_{вр.\,техн} = K_{вр}$, то производительность экскаваторов при работе в бункер больше производительности при работе в транспортные приборы, если только передвижка бункера укладывается в срок передвижки экскаватора.

Производительность экскаватора при погрузке на транспорт может быть вычислена также по формуле:

$$П = \frac{480}{T_{пот}} \frac{V_{тр} K_{вр.\,т}}{K'_{вр}} \text{ м}^3/\text{смену}, \tag{84}$$

где $V_{тр}$ — объем транспортного состава (поезд, автомашина).

Стоимость 1 м³ экскавации определяется по формуле

$$C = \frac{C_{м.\,см}}{П},$$

где $C_{м.\,см}$ — стоимость машино-смены экскаватора, определяемая по справочникам.

§ 25. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ

Для повышения коэффициента эксплуатации необходимо добиваться: 1) максимального использования экскаватора во времени; 2) максимальной интенсивности его работы в единицу времени или, иначе говоря, минимальной затраты времени на один цикл; 3) максимального наполнения ковша грунтом. При работе на транспорт производительность пропорциональна также коэффициенту $K_{тр}$.

Кроме того, на производительность экскаваторов влияет разбивка выемок и котлованов на забои, определяющая количество забоев в данной выемке, число передвижек экскаватора и условия его работы, а также технологическая комплектность между экскаваторами и транспортными приборами. Большое влияние на производительность экскаваторов оказывает качество их ремонта и наличие ремонтных баз.

Решающее влияние на производительность экскаваторов, работающих на транспорт, оказывает число прикрепляемых к экскаватору транспортных приборов, состояние дорог для отвозки грунта и надлежащая организация отвального хозяйства. Большое значение имеет правильная организация экскаваторных работ: наличие комплексных хозрасчетных бригад, диспетчеризация, система оперативного учета, анализ работы экскаваторов с выявлением возможного наименьшего времени цикла, освещение и осушение забоев, наличие средств связи, рациональная организация взрывных работ и режима рабочей смены, автоматизация учета работы экскаваторов.

Перечисленные пути рационализации должны быть учтены в проекте организации экскаваторных работ.

§ 26. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСКАВАТОРОВ ВО ВРЕМЕНИ. ПРОСТОИ

Отношение времени фактической работы экскаватора в смену к продолжительности смены, определяемое коэффициентом $K_{вр}$, является весьма важным показателем успешности работы экскаватора. Действительно, при прочих одинаковых условиях, производительность экскаватора прямо пропорциональна, а стоимость разработки обратно пропорциональна значению $K_{вр}$.

Для одноковшовых экскаваторов, работающих на транспорт, $K_{вр}$ колеблется в очень широких пределах — от 0,20 до 0,47 на стройках и до 0,85

при стационарных работах на добыче нерудных ископаемых, разработке карьеров и т. п.

Рассмотрим факторы, влияющие на величину коэффициента $K_{вр}$, а также мероприятия для его повышения.

Различают следующие виды простоев экскаваторов в течение смены.

Технологические простои связаны с выполнением операций, необходимых для работы экскаватора (смазка, крепежный ремонт, смена бригад, набор воды и топлива), и операций по разработке забоя экскаватором (передвижки, переходы из забоя в забой, подчистка забоев). Одни из этих простоев нормированы, другие определяются проектом организации работ.

Коэффициент использования экскаваторов во времени, вследствие наличия технологических простоев, назовем $K_{вр.\ техн}$; он соответствует условиям работы экскаватора в отвал.

Простои при смене транспортных приборов (поездов, автомашин, отдельных платформ) изменяются в очень широких пределах в зависимости от организации работ, расположения транспортных путей в забое, емкости платформ и автомашин, числа платформ в поезде при отвозке по железной дороге, наличия прицепов к автомашинам.

Своевременная и быстрая смена транспортных приборов у экскаватора является одним из важнейших условий правильной организации экскаваторных работ.

Коэффициент использования экскаваторов во времени вследствие простоев при смене транспортных приборов назовем $K_{вр.\ см}$; в зависимости от организации работ $K_{вр.\ см}=0{,}10 \div 1{,}0$.

Производственные простои возникают из-за неудовлетворительной организации работ. Причинами этих простоев бывают: аварийные ремонты в рабочее время; несвоевременная подача транспортных приборов, плохое состояние дорог, задержки при доставке топлива и воды.

Коэффициент использования экскаваторов во времени из-за производственных простоев назовем $K_{вр.\ произв}$.

При отличной организации экскаваторных работ с отвозкой грунта автомашинами простои при смене транспортных приборов могут быть полностью ликвидированы, а при отвозке грунта поездами — резко сокращены.

При безаварийной работе экскаваторов, достаточном количестве транспортных приборов и движении их по графику, при хороших дорогах, поддерживаемых в исправном состоянии, хорошо организованной разгрузке и разравнивании грунта на свалках значение коэффициента $K_{вр.\ произв}$ может быть доведено до единицы.

Между названными коэффициентами существует зависимость:

$$K_{вр} = K_{вр.\ техн} K_{вр.\ см} K_{вр.\ произв}, \qquad (85)$$

а при отсутствии производственных простоев:

$$K_{вр} = K_{вр.\ техн} K_{вр.\ см}. \qquad (85а)$$

§ 27. ПРОСТОИ ЭКСКАВАТОРОВ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРИЧИНАМ

Односменная и двухсменная работа. Простои полноповоротных гусеничных экскаваторов по технологическим причинам можно оценить в 6—7% от времени смены (передвижки, набор топлива, смазка, очистка забоев). Набирать воду нужно без перерыва в работе экскаватора. Потери на переходы из забоя в забой составляют около 2%. Учитывая более совершенные конструкции современных отечественных экскаваторов, можно считать, что при хорошей организации работ $K_{вр.\ техн}=0{,}93 \div 0{,}94$.

Сюда не входит время на смену бригад и крепежный ремонт, которые при двухсменной работе можно выполнять перед началом смены и после ее окончания.

$K_{\text{вр. техн}}=0{,}93 \div 0{,}94$ соответствует работе экскаватора в отвал.

Трехсменная работа. Смену бригад и крепежный ремонт приходится производить в рабочее время, что снижает его продолжительность. Поэтому $K_{\text{вр. техн}}$ при трехсменной работе должно быть меньше, чем при одно- и двухсменной работе. При двух восьмичасовых сменах и одной четырехчасовой, с промежутками между сменами в $^1/_2$, $^1/_2$ и 3 часа, используемыми на ремонт и смену бригад, длительность рабочего времени в сутки составляет 20 часов, что соответствует средней длительности смены $6^2/_3$ часов и $K_{\text{вр. техн}}=0{,}75 \div 0{,}76$.

На постройке одной плотины с объемом земляных работ 4 млн. $м^3$ работало 7 экскаваторов с ковшами емкостью от 1,05 до 3,8 $м^3$ и 68 автосамосвалов. Работа велась в три восьмичасовые смены; чистая работа занимала 7 часов 20 минут; 10 минут занимала приемка и сдача машин бригадами, а 30 минут перерыва в середине смены использовались для осмотра и смазки машин. Несмотря на короткие сроки, отводившиеся для смены бригад, крепежного ремонта и смазки, благодаря хорошей организации ремонта была обеспечена бесперебойная работа экскаваторов и транспортных машин в течение 22 часов в сутки. Это соответствует $K_{\text{вр. техн}}=0{,}85 \div 0{,}86$.

Передовые машинисты затрачивают на приемо-сдачу и чистку экскаватора только 15—20 *мин* и не имеют в процессе работ аварийных ремонтов.

На строительстве канала имени Москвы на крепежный ремонт и смену бригад отводилось от 2 до 4 часов в сутки, что соответствует $K_{\text{вр. техн}}=0{,}91 \div 0{,}83$; однако на стройке имели все же место крупные простои экскаваторов в рабочее время из-за аварийных ремонтов, в среднем за четыре года работы на это ушло 5,4—6% рабочего времени для механических лопат и 14,7% для драглайнов.

Это показывает, что безаварийная работа экскаваторов обеспечивается не длительностью времени, отводимого на крепежный ремонт, смазку, приемо-сдачу экскаваторов и транспортных машин, а хорошей организацией ремонта (своевременность и доброкачественность ремонтов разных видов и смазки, узловой метод ремонта, передвижные ремонтные мастерские).

Если назначить с запасом при восьмичасовой смене один час на приемку и сдачу экскаваторов и транспортных машин, на смазку и крепежный ремонт их, то это будет соответствовать работе машин экскаваторного комплекса в течение 21 часа в сутки и $K_{\text{вр техн}}=0{,}87$. Таким образом, $K_{\text{вр. техн}}$, а следовательно, и пропорциональные ему $K_{\text{вр}}$ и производительность экскаватора существенно изменяются в зависимости от числа смен работы экскаватора (1 или 2, 3). В первом случае $K_{\text{вр. техн}}$ должен доходить до $0{,}93 \div 0{,}94$, а во втором случае, в зависимости от организации смен, $K_{\text{вр. техн.}}$ может изменяться от 0,77 до 0,86. Это обстоятельство следует принимать во внимание при составлении проекта организации работ и подсчетах производительности экскаваторов.

На передовых машинно-экскаваторных станциях с большим успехом применяется четырехсменная работа, обеспечивающая меньшую утомляемость механиков и значительное повышение производительности экскаваторов.

§ 28. ПРОСТОИ ЭКСКАВАТОРОВ ПРИ СМЕНЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПРИБОРОВ; ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОСТОИ

Экскаватор тратит время не только на погрузку, но и на простои, связанные со сменой транспортных приборов. При отвозке грунта железнодорожными поездами экскаваторы простаивают не только при смене поездов, но и отдельных платформ.

Если полное время, затрачиваемое экскаватором на погрузку одного состава и на замену его другим, обозначим $T_{\text{пог}}$, то коэффициент

$$K_{\text{вр. см}}=\frac{t_{\text{пог}}}{T_{\text{пог}}} \qquad (85)$$

учитывает потерю времени экскаватором на смену транспортных приборов.

Профессор Н. Г. Домбровский указывает, что не менее 30—35% простоев приходится на ожидание транспорта, 20—30%—на ремонт, 12—15%—на технологические простои (укладка и передвижка путей, производство взрывных работ, подготовка отвалов), 5—8%—из-за отсутствия электроэнергии, топлива и пр. и 12—15%—на прочие простои, куда обычно включают также простои из-за организационных неполадок.

В таблице 13 приведены данные о среднем за четыре года распределении простоев механических лопат в рабочее время (в процентах) при работе на транспорт на одной из крупных строек.

Таблица 13

Задержки в снабжении топливом и водой	7,7
Ожидание составов	36,2
Аварийный ремонт	5,4
Аварии	1,3
Передвижки	2,9
Смена бригад	3,6
Очистка ковша	0,4
Переход из забоя в забой	2,0
Атмосферные условия	0,4
Прочие простои	6,9
Всего	66,8

Время чистой работы составило 33,2% ($K_{вр}=0{,}332$).

Как видно из таблицы, наибольшую величину составляют простои экскаваторов в ожидании транспортных приборов. Поэтому обеспечение экскаваторов достаточным количеством транспортных приборов является важнейшим условием для повышения $K_{вр}$. Если транспортных средств на стройке не хватает, то выгоднее работать меньшим числом экскаваторов, но обеспечивать их достаточным количеством транспортных средств.

Действительно, производительность экскаватора, работающего на транспорт, равна производительности транспорта, отвозящего грунт. При недостаточном обеспечении экскаватора транспортными приборами, например на a%, производительность экскаватора также снизится на a%. Поэтому при недостатке транспортных машин общая производительность экскаваторного парка будет определяться не числом работающих экскаваторов, а производительностью транспортных приборов. Но предприятие должно оплачивать амортизационные отчисления за каждый экскаватор и содержать квалифицированный персонал для его обслуживания. Поэтому целесообразность работы с меньшим количеством экскаваторов, обеспеченных, однако, в полной мере транспортными приборами, по сравнению с бо́льшим количеством экскаваторов, лишь частично обеспеченных транспортом, становится очевидной, так как производительность экскаваторного парка в обоих случаях одинакова.

Однако мало обеспечить экскаваторы достаточным количеством транспортных приборов; необходимо надлежащим образом организовать их работу. С этой целью нужно снизить до минимума время на смену транспортных приборов $t_{ман}$ и организовать их работу поточным способом с соблюдением вполне определенного интервала во времени $t_{инт}$ между подачей к экскаватору отдельных транспортных приборов.

При отвозке грунта автомашинами минимальное значение $t_{ман}$ получается при $t_{ман}=0{,}93\ t_{ц}$ [формула (80)]. Возможно ли это? Да, вполне возможно.

При работе механических лопат с ковшами до 3 $м^3$ разных марок значение $0{,}93\ t_{ц}$ изменяется от 0,15—0,47 *мин* в грунтах I и II категорий до 0,56 *мин* в грунтах IV категории. При работе драглайнов $0{,}96\ t_{ц}$ изменяется от 0,20—0,27 *мин* в грунтах I—II категорий до 0,46 *мин* в грунтах IV категории.

С точки зрения техники безопасности, автомашины должны стоять вне пределов радиуса разгрузки; при запасе в 5 *м* и подаче автомашин под экскаватор с маневровой скоростью 5 *км/час* смена автомашин у механических лопат может занять 0,15÷0,19 *мин*, а у драглайнов—0,29 *мин*; следовательно, время смены автомашин у экскаваторов вполне может укладываться в 0,93 $t_ц$. Реальность этого подтверждает и практика передовиков, заменяющих автомашины под погрузкой в течение нескольких секунд.

Для соблюдения этого нужно поддерживать подъезды к экскаватору в исправном состоянии и хорошо освещать их в ночное время; полезно также отмечать места стоянки автомашин у экскаваторов колышками.

Рассмотренные выше способы повышения производительности экскаваторов предусматривают равномерную подачу автомашин под экскаватор; очевидно, что для бесперебойной работы экскаватора интервал в подаче автомашин под экскаватор $t_{инт}$ должен быть равен $T_{пог}$.

Для выполнения этого, кроме обеспечения экскаваторов достаточным количеством автомашин, необходимо организовать: 1) своевременный и качественный ремонт машин; 2) работу автомашин по графику с диспетчерским наблюдением за движением; 3) поддержание автодорог в исправном состоянии; 4) движение на дорогах без «пробок», которые возникают обычно на однопутной дороге в случае порчи и остановки одной из машин.

Если автомашина простоит дольше, чем $t_{инт}$ $(N—1)$, то на дороге образуется «пробка» из всех прикрепленных к экскаватору автомашин. Так как $t_{инт}$ невелико, то «пробка» возникает очень быстро—через 5—15 *мин*. «Пробки» на однопутных автодорогах сопровождаются простоями не только автомашин, но также и экскаваторов и разгрузочных бригад.

Чтобы не допускать образования «пробок», следует устраивать только двухпутные дороги.

При $t_ц$ механических лопат, изменяющемся в зависимости от марки экскаватора и категории грунта от 15 до 30 *сек* при $m_{ков}=4$ и при $t_{ман}=0{,}93\,t_ц$, величина $t_{пог}=t_{инт}$ изменяется от 1 до 2 *мин*. Возможность такой четкой работы автотранспорта на стройках подтверждена опытом Волгодонстроя, где при разработке карьеров с интенсивностью движения до 2000 машин в сутки они двигались друг за другом со средним интервалом в 30 *сек*, а в отдельные периоды до 10 *сек*.

При скорости движения самосвала на перегоне 15—20 *км/час* и $t_{инт}=T_{пог}=1\div2$ *мин* расстояние между движущимися машинами $L=250\div660$ *м*, а на современных карьерных автодорогах оно изменяется от 40—60 до 100 *м*[1].

Условия «конвейерной» подачи автомашин к экскаватору, равно как и условие $t_{ман}=0{,}93\,t_ц$, необходимое для полной ликвидации потерь времени на смену автомашин у экскаватора, вполне могут быть соблюдены при хорошей организации работ.

Весьма значительны простои экскаваторов из-за аварийных ремонтов, составляющие 5,4%; эти простои при доброкачественном и своевременном ремонте экскаваторов и машин экскаваторного комплекса вовсе не должны иметь места. Некоторые передовые механики так ведут работу, что механизмы совсем не простаивают из-за аварийных ремонтов.

Задержки в снабжении водой и топливом, составляющие 7,7%, вполне устранимы. При современных дизельных и электрических экскаваторах этих простоев не должно быть.

Прочие простои вызываются ожиданием взрывов, нагоном пара, несвоевременным удалением воды из забоев, очисткой путей от грунта и т. п. Простои из-за ожидания взрывов могут быть устранены при заблаговременном производстве взрывных работ на достаточном расстоянии от экскаваторов; примером могут служить работы, проводившиеся на Свирьстрое, где простоев экскаваторов в ожидании взрывов не было.

---

[1] Л. Г. Тымовский. Автомобильный транспорт на открытых работах. Углетехиздат, 1952.

Простоев из-за несвоевременного удаления воды из забоев совершенно не должно быть при надлежащей организации осушения забоев.

Потери на ожидание экскаватором составов могут быть сведены только к потерям на их смену; при хорошей организации работ эти потери можно довести до 10% и менее. Если, кроме этого, учесть неизбежные технологические потери, то возможный $K_{вр}$ экскаваторов получается около 0,85 вместо фактического коэффициента на стройке $K_{вр}=0{,}332$ (табл. 13).

При погрузке грунта на автомашины при $t_{маш}=0{,}93\,t_{ц}$, отличной организации работ ($t_{ожт}=T_{пос}$) и отсутствии простоев экскаватора из-за производственных неполадок $K_{вр}=K_{вр.\,техн}=0{,}93\div0{,}94$. Возможность таких исключительно высоких значений $K_{вр}$ подтверждается практикой работы передовых экскаваторщиков.

§ 29. ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРОВ ВО ВРЕМЕНИ

На стройке канала имени Москвы, где экскаваторы работали в течение четырех лет, среднее значение $K_{вр}$ для механических лопат составляло $0{,}274\div0{,}332$, а для драглайнов при работе на вымет 0,459.

На этой же стройке при хорошей организации работ и обеспечении экскаваторов достаточным количеством транспортных средств были периоды, когда $K_{вр}$ механических лопат, работавших на транспорт, доходило до 0,75, а драглайнов, работавших на вымет,—до 0,85. В лучших механизированных колоннах на некоторых стройках в последние годы до 82% рабочего времени машин используется для полезной работы.

По Н. Г. Домбровскому, среднее использование во времени экскаваторов, работающих на строительстве, не превышает для списочного состава 20—26%, а для рабочего парка 30—35%, тогда как на угольных карьерах $K_{вр}=0{,}60\div0{,}65$, а на наиболее хорошо организованных работах 0,80 и даже 0,89. Учитывая, однако, завышение времени работы по отчетным данным, Н. Г. Домбровский считает, что в действительности использование строительных экскаваторов во времени не превышает 20%. Вместе с тем он указывает, что при хорошей организации работ $K_{вр}$ для строительных экскаваторов, работающих в отвал, может быть доведено до 0,79—0,81, а при работе на транспорт—до 0,61—0,67.

Даже на крупнейших гидротехнических стройках настоящего времени $K_{вр}$ экскаваторов не превосходит 0,54 (по данным строительства), а если учесть, что ряд простоев не учитывается, то $K_{вр}$ составляет $0{,}20\div0{,}25$. Основные причины простоев экскаваторов, как отмечалось выше, состоят в недостаточном снабжении их транспортными средствами и плохом состоянии забойных дорог.

Приведенные данные показывают, что рабочее время экскаваторов используется еще совершенно недостаточно, и надлежащей организацией работ можно и должно резко повысить их производительность. На многих стройках передовые механики перевыполняют нормы в 2—2,5 раза. Число таких передовиков производства составляет до 30—35% от общего числа экскаваторщиков.

Повышение $K_{вр}$ и производительности экскаваторов представляет собой весьма важную и актуальную задачу. Так как

$$K_{вр}=K_{вр.\,техн}K_{вр.\,см}K_{вр.\,произв},$$

то для выявления факторов, влияющих на $K_{вр}$, рассмотрим каждый из трех множителей, определяющих значение $K_{вр}$.

Коэффициент $K_{вр.\,техн}$ зависит от времени, затрачиваемого на передвижки, набор топлива и воды, смазку, подчистку забоев, очистку ковша при разгрузке налипающих грунтов и переходы из забоя в забой. Кроме того, $K_{вр.\,техн}$ зависит от числа смен работы экскаваторов в сутки и от времени, отводимого на смену бригад и ремонт в междусменные промежутки.

При железнодорожной отвозке коэффициент $K_{\text{вр. см}}$ зависит от $t_{\text{ман}}$, $t_{\text{см}}$, числа платформ в поезде n, грузоподъемности их, объемного веса грунта, времени цикла экскаватора $t_{\text{ц}}$. При отвозке грунта автотранспортом $K_{\text{вр. см}}$ зависит от $t_{\text{ман}}$, работы с прицепами или без них, от $t_{\text{ц}}$, грузоподъемности автомашины и объемного веса грунта.

Что касается $K_{\text{вр. произв}}$, то, как мы видели, этот коэффициент зависит от системы ремонта машин экскаваторного комплекса, обеспечения экскаваторов достаточным количеством транспортных приборов, бесперебойности снабжения экскаваторов, организации взрывных работ, осушки забоев и пр.

Некоторые из факторов, влияющих на $K_{\text{вр}}$ экскаватора, зависят, в свою очередь, от других. Так, число единиц n в поезде зависит от величины подъемов в грузовом направлении.

Для обеспечения максимальной производительности экскаваторов необходимо изучать условия, влияющие на ее величину.

Автором сделаны расчеты производительности и стоимости работы, выполняемой различными механическими лопатами. Результаты расчетов приведены на графиках (рис. 122 и 123).

Рассмотрение графиков позволяет сделать ряд выводов.

1. При работе механических лопат на автотранспорт огромное влияние на $П$ и $K_{\text{вр}}$ оказывает величина $t_{\text{ман}}$, в зависимости от значения которой $П$ и $K_{\text{вр}}$ меняются в несколько раз; поэтому при организации работ необходимо стремиться сводить $t_{\text{ман}}$ к возможному минимуму, которым являются

$$t_{\text{ман}} = 0{,}93t_{\text{ц}}, \quad \text{когда} \quad K_{\text{вр. см}} = 1.$$

При железнодорожном транспорте, как это можно видеть из формулы (73), нельзя довести $K_{\text{вр. см}}$ до единицы, так как даже при

$$t_{\text{см}} = 0{,}93t_{\text{ц}}, \quad T_{\text{пог}} = t_{\text{пог}} + t_{\text{ман}}, \quad K_{\text{вр. см}} = \frac{t_{\text{пог}}}{T_{\text{пог}}} < 1.$$

Таким образом, верхний предел $K_{\text{вр. см}}$ при отвозке грунта автотранспортом выше, чем при железнодорожной отвозке.

2. Производительность экскаваторов сильно зависит от грузоподъемности автомашины и числа загружаемых в нее ковшей $m_{\text{ков}}$, а также от того, применяются ли прицепы. Поэтому с точки зрения рационализации работы экскаваторов нужно применять самосвалы большей грузоподъемности и работать с прицепами.

3. Коэффициент $K_{\text{вр}}$ экскаватора повышается при увеличении грузоподъемности автомашины и уменьшении емкости ковша экскаватора (при прочих равных условиях). Отсюда видно, что на величину $K_{\text{вр}}$ оказывает существенное влияние зависимость между грузоподъемностью транспортных приборов и емкостью ковша экскаватора или, иначе говоря, число ковшей $m_{\text{ков}}$, загружаемых в автомашину. Этот фактор назовем **технологической комплектностью**.

При железнодорожном транспорте влияние $t_{\text{ман}}$ на производительность и $K_{\text{вр}}$ экскаватора сохраняется, но степень этого влияния меньше, чем при отвозке грунта автотранспортом (рис. 123, *а*).

Время $t_{\text{ман}}$ зависит от схемы расположения путей в забое (кольцевая, «рыбка», тупиковая), что следует учитывать при проектировании организации работ.

Величина $t_{\text{ман}}$ зависит от уклона путей в забое, от опытности паровозного машиниста. Поэтому подачу составов под экскаватор следует вести под уклон, т. е. навстречу движению механической лопаты, которая в целях осушения забоев должна двигаться на подъем.

Влияние $t_{\text{см}}$ на $П$ и $K_{\text{вр}}$ при железнодорожном транспорте значительно; поэтому слаженность в работе между механиком экскаватора и машинистом паровоза имеет большое значение (рис. 123, *в*).

С увеличением числа платформ в поезде (а это равносильно уменьшению руководящих подъемов) увеличивается и $K_{вр}$, что необходимо учитывать при трассировке железнодорожных путей. С уменьшением руководящих

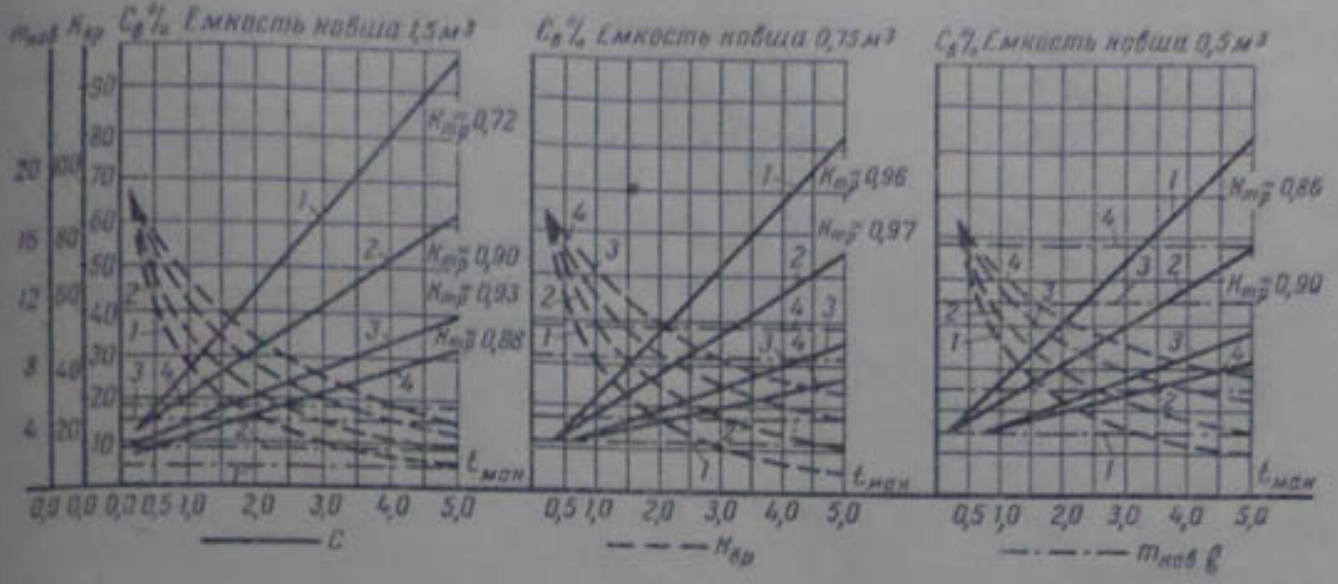


Рис. 122. Зависимость стоимости разработки грунта механическими лопатами при отвозке автотранспортом $K_{вр}$ и числа ковшей $m_{ков}$, загружаемых в транспортные приборы.

подъемов в грузовом направлении увеличивается производительность экскаватора и повышается $K_{вр}$ (рис. 123, *б*). Эту зависимость необходимо учитывать при проектировании землевозных путей.

Рис. 123. Влияние различных факторов на производительность $П$ механических лопат в грунтах I категории и на коэффициент использования во времени:

а—влияние $t_{ман}$: *1* и *2*—$П$ и $K_{вр}$ при отвозке грунта поездом из 15 нормальных платформ широкой колеи; *3* и *4*—$П$ и $K_{вр}$ при отвозке грунта поездом из 16 платформ узкой колеи: *5* и *6*—$П$ и $K_{вр}$ при отвозке грунта автомашинами ЯГ-4 с четырехтонными прицепами. *б*—влияние числа транспортных приборов в поезде на $П$ и $K_{вр}$ (кривые *3* и *4*); сплошные линии—платформы широкой колеи; штриховые—платформы узкой колеи. *в*—влияние времени смены $t_{см}$ отдельных платформ на $П$ и $K_{вр}$: *7* и *8*—$П$ и $K_{вр}$ при отвозке грунта поездом из 15 нормальных платформ широкой колеи; *9* и *10*—$П$ и $K_{вр}$ при отвозке грунта поездом из 16 платформ узкой колеи.

Работа автомашин с прицепами значительно повышает $K_{вр}$ и производительность $П$ экскаватора. В результате указанных мероприятий $K_{вр}$ может быть повышен с 0,20—0,30 до 0,80—0,90, т. е. в 3—4 раза.

§ 30. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ВРЕМЕНИ ЦИКЛА ЭКСКАВАТОРА

Время цикла $t_ц$ экскаватора слагается из времени набора, времени разгрузки ковша экскаватора и времени поворотов на разгрузку и обратно.

Уменьшение времени набора $t_{наб}$ может быть достигнуто сокращением длины и повышением скорости набора. Скорость набора

определяется конструкцией экскаватора, поэтому уменьшение $l_{наб}$ для данного экскаватора может быть достигнуто увеличением толщины стружки, так как в этом случае сокращается длина набора.

Толщина стружки может быть увеличена в результате повышения активного напорного усилия, для чего следует работать на неполностью

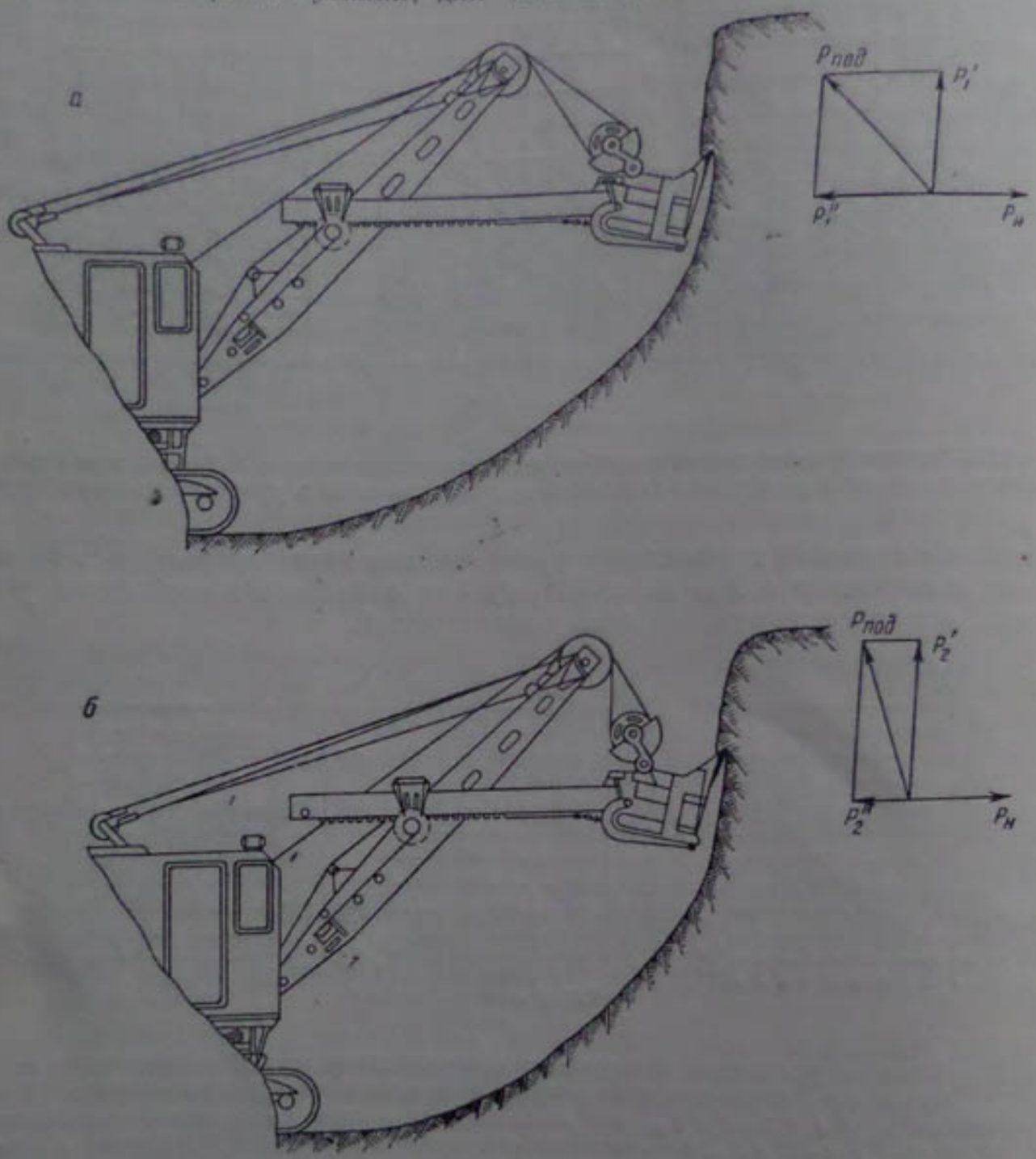


Рис. 124. Влияние вылета рукояти на величину фактического напорного усилия: *а*—работа на полностью вытянутой рукояти; *б*—работа на неполностью вытянутой рукояти; $P_{под}$—усилие, передаваемое на ковш подъемным тросом; P'—усилие, передаваемое на зубья ковша; P''—усилие, передаваемое на рукоять, $P_1'' < P_2''$.

вытянутой рукояти при коротких передвижках. В этом случае уменьшается составляющая подъемного усилия, направленная по рукояти и противоположная по направлению напорному усилию экскаватора (рис. 124).

К другим мероприятиям по увеличению толщины стружки относятся: а) устройство выступающих средних зубьев ковша, способствующих разрыхлению срезаемого грунта (предложение механика т. Пильщикова); б) изменение формы ковша для уменьшения сопротивлений при его накоплении (предложение механика Б. Е. Коваленко); в) регулировка угла резания в соответствии с характером грунта (меньший угол резания в тяжелых грунтах и больший—в легких).

Время разгрузки ковша невелико—около 0,07 $t_ц$; если соблюдено условие технологической комплектности, то и время на установку ковша под транспортными приборами также незначительно.

Однако в условиях налипающих грунтов разгрузка значительно осложняется, а время разгрузки сильно увеличивается. Этим вопросом специально занялся Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники имени Б. Е. Веденеева (ВНИИГ). В. И. Лофицкий и Б. Ф. Рельтов для ускорения разгрузки налипающих грунтов использовали принцип электроосмоса[1].

Электроосмосом называется передвижение воды в тонкопористой гидрофильной среде, возникающее при прохождении через нее постоянного электрического тока. В глинистых грунтах обычно имеет место движение воды к отрицательному полюсу.

Другой способ быстрой очистки кузова от налипаемого грунта, основанный на установке вибратора на ковше экскаватора, предложен ВНИОМС. По данным Ф. Я. Барон[2], применение вибрации обеспечивает полную разгрузку ковша и сокращает ее срок.

При работах экскаваторов Э-3 на Куйбышевгидрострое в налипающих грунтах была увеличена емкость ковшей с 3 до 3,5 м³, стенки их были сделаны меньшей высоты, а площадь днищ увеличена (предложение механика Б. Е. Коваленко). Это сократило объем налипания на стенки ковша приблизительно в три раза и увеличило производительность в $1^1/_2$—2 раза[3], в то время как в стандартных ковшах $K_{нап}$ уменьшалось вследствие налипания на 30—40%[4].

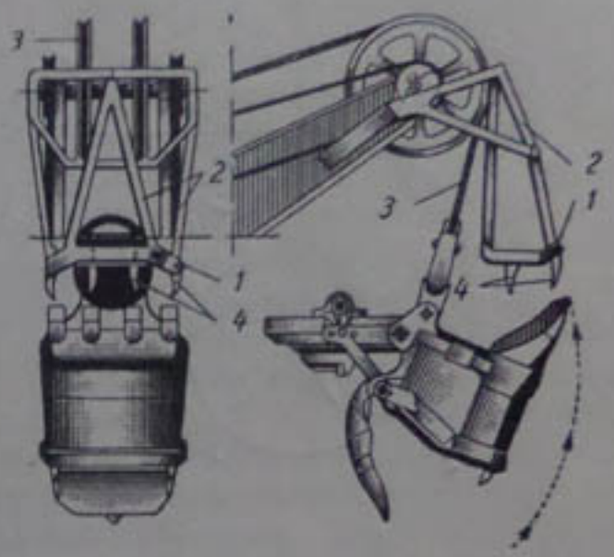


Рис. 125. Нож-скребок для очистки ковша экскаватора:
1—нож-скребок; 2—рамка, прикрепленная к верхнему концу стрелы экскаватора; 3—подъемный канат; 4—предохранительные планки.

Нередко экскаваторщики для разгрузки налипающих грунтов применяют встряхивание ковша; это дает, конечно, некоторый эффект, но значительно увеличивает время разгрузки и отрицательно сказывается на техническом состоянии экскаватора. Некоторые передовики—т. Нерод и др.—находят целесообразным для борьбы с налипанием производить резание грунта только частью режущей кромки, другие режут липкие грунты тонкой стружкой.

Механик И. А. Константинов предложил, изготовил и внедрил весьма простое приспособление (рис. 125) для очистки ковша экскаватора[5]. К верхней части стрелы приделывается рамка с ножом, имеющим форму внутренней поверхности ковша. По мере налипания грунта ковш подтягивается к блоку, налипший грунт срезается ножом и вываливается через открытое днище. Время цикла при этом сокращается на 15%.

Время обоих поворотов $t_{пов}$ занимает основную часть времени цикла—60%, и мероприятия для уменьшения $t_{пов}$ значительно влияют

---

[1] В. И. Лофицкий, Б. Ф. Рельтов. Борьба с налипанием грунта к кузовам автосамосвалов и ковшам экскаваторов, ВНИИГ, Л., 1953.

[2] Производство земляных работ. Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре. М., 1956.

[3] Б. Е. Коваленко. Ковш увеличенной емкости. Куйбышевское книжное издательство, 1956.

[4] Н. В. Разин. Механизация земляных работ на Куйбышевгидрострое. «Гидротехническое строительство» № 1, 1954.

[5] В. И. Агодронов, Д. М. Денисов. Приспособление для очистки ковша экскаватора. «Автомобильные дороги» № 9, 1956.

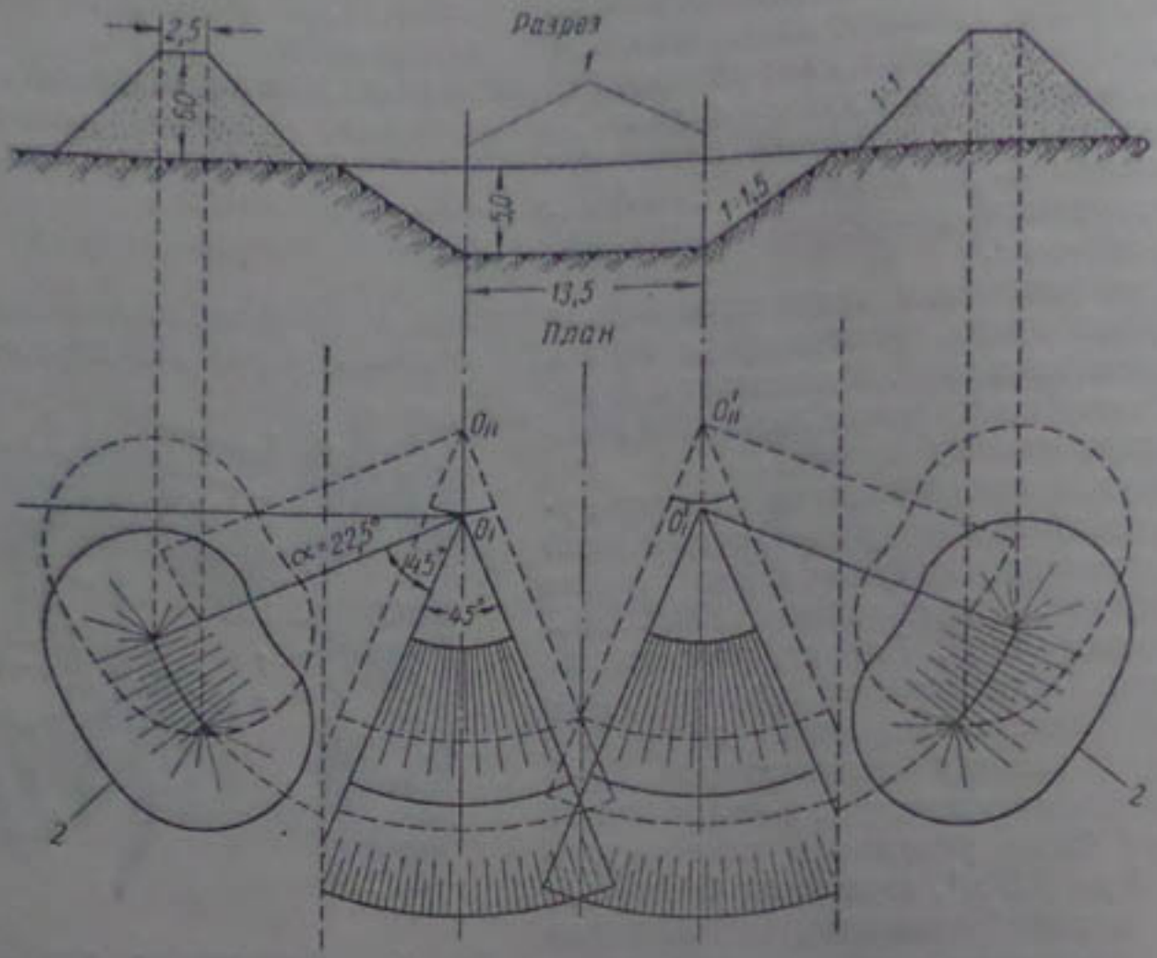


Рис. 126. Схема разработки драглайном канала в отвал при уменьшенном угле поворота на разгрузку:
1—оси экскаваторных ходов; *2*—отвалы.

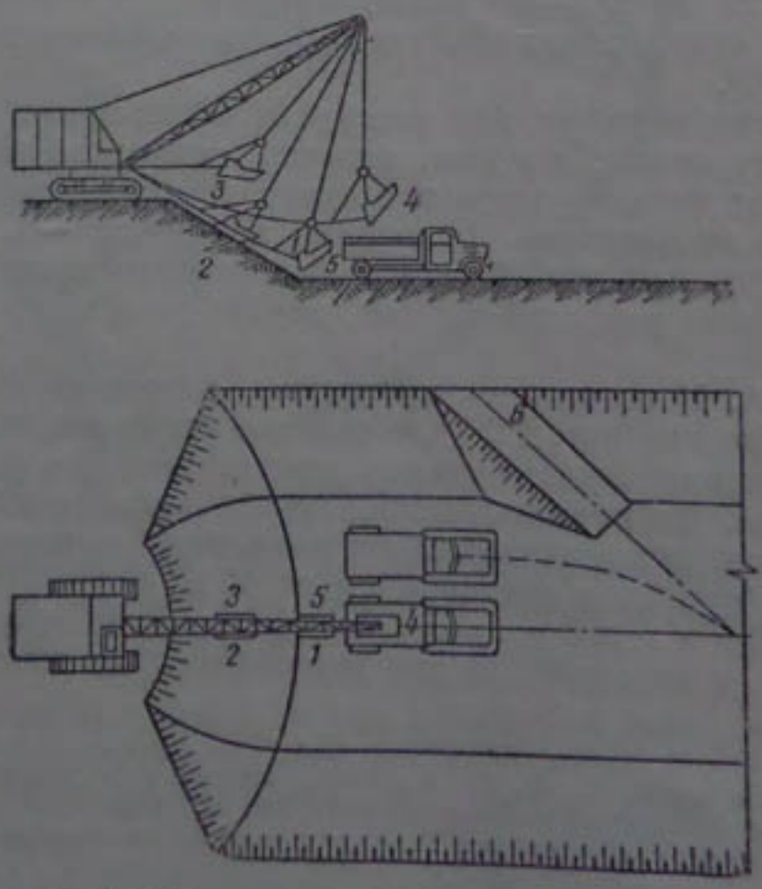


Рис. 127. Схема работы драглайна по продольно-челночному методу разгрузки:
1 и *2*—набор грунта; *3*—подъем ковша для разгрузки; *4*—разгрузка ковша; *5*—опускание ковша между торцовой стенкой кузова и основанием относа забоя; *6*—отвал.

на снижение времени цикла $t_ц$. Основными мероприятиями для сокращения $t_{пов}$ являются: уменьшение угла поворота; выбор режима скоростей при повороте; отсутствие задержек во время поворота, связанных с подъемом ковша на разгрузку.

Уменьшение угла поворота экскаватора на разгрузку на 1° снижает время цикла механических лопат на 0,43% и драглайнов—на 0,40%. Поэтому при составлении проекта организации работ необходимо обеспечивать минимальный угол поворота и не допускать работы с углом в 90°, как это часто практикуется, а тем более с углами в 180°, как это ошибочно рекомендуется некоторыми авторами в качестве меры, снижающей время поворота. Ошибка этих авторов заключается в том, что они сравнивают время поворота на 180° при условии кругового поворота на 360° с $t_{пов}$ на 180° и обратным возвращением ковша снова на 180°. Первая схема действительно выгоднее второй, но она значительно хуже, чем при углах поворота, меньше 90°.

Если при разработке грунта механическими лопатами уменьшение угла поворота достигается в результате сближения осей экскаваторного и транспортного ходов, то при отрывке каналов драглайнами для уменьшения угла поворота следует увеличивать число проходок экскаватора. Очевидно, что при двух проходках экскаватора вдоль разрабатываемого канала (рис. 126) угол поворота будет значительно меньше, чем при одной проходке экскаватора по оси канала. В зависимости от ширины разрабатываемого канала угол поворота драглайна может изменяться от 30 до 60°. Однако он резко уменьшается при прогрессивной схеме работы по продольно-челночному методу разгрузки (рис. 127). Эту схему применяли передовые механики Доценко, Лемесин, Водяник, Алферов, Монахов, Бабыкин, добившиеся устойчивой выработки в два раза выше установленной нормы[1]. При обычном способе работ самосвалы ставят сбоку разрабатываемой выемки на одном уровне с экскаватором. К недостаткам этого способа относятся подъем ковша на большую высоту для разгрузки, неравномерная загрузка кузова, потери грунта при разгрузке, достигающие 10%, и большие углы поворота.

При продольно-челночном методе работ самосвал спускается для нагрузки на дно забоя на расстоянии от откоса, достаточном для заброса ковша. Ковш после набора грунта перемещается в продольном направлении к кузову, поворотное движение почти отсутствует и угол поворота снижается примерно до 5°; самосвалы ставятся последовательно по ширине забоя. Время цикла при этом методе, по сравнению с обычным, сократилось на 40%, $K_{нап}$ увеличилось на 20%, а производительность экскаватора возросла на 90%; затрата мощности сократилась в 1,6 раза, а горючего в 1,3 раза.

Как видно из изложенного, время цикла $t_ц$ может быть снижено в результате уменьшения угла поворота на 15—20% и более; некоторое уменьшение $t_ц$ может быть достигнуто путем уменьшения времени набора за счет утолщения толщины стружки.

В налипающих грунтах $t_ц$, согласно опыту новаторов, может быть снижено примерно на 15%.

По совокупности можно полагать возможным уменьшение $t_ц$ примерно на 30—35%, а в налипающих грунтах и более.

§ 31. ПОВЫШЕНИЕ НАПОЛНЕНИЯ КОВША

Для повышения производительности экскаваторов необходимо обеспечить полное наполнение ковша или даже наполнение его с шапкой.

Если высота забоя недостаточна, применяют выступающие средние зубья, что повышает $K_{нап}$ на 10—15%, изменяют форму ковша, уменьшают длину передвижки для увеличения толщины стружки за счет увеличения

---

[1] Д. И. Федоров. Передовые методы работы на драглайнах в комплексе с самосвалами. «Механизация строительства» № 8, 1954.

активного напорного усилия и прибегают к другим способам набора грунта, повышающим $K_{нап}$.

Для механической лопаты величина $K_{нап}$ зависит от высоты копания, толщины стружки, величины потерь из ковша и $K_{разр}$. Нормальная стружка должна иметь $h:b = 1:4 \div 1:10$ при b не менее 750—800 *мм* и не более 3000 *мм* (b и h—ширина и толщина стружки).

Наличие зубьев уменьшает сопротивление копанию на 15—20%, а в сыпучих грунтах увеличивает $K_{нап}$. Зубья должны быть длинными и острыми; длина выступающей части зубьев—не менее 12—15 *см* (для Э-505). Весьма важна плавность работы и отсутствие толчков, что достигается плавным включением рычагов.

§ 32. СМЕННЫЕ КОВШИ ЭКСКАВАТОРОВ

Мощность экскаваторов рассчитана на самые невыгодные условия работы в тяжелых грунтах. При работе в легких и средних грунтах емкость ковша может быть повышена без опасения перегрузки машины.

Исследования Н. Г. Домбровского и ряд эксплуатационных испытаний показали возможность увеличения емкости ковшей экскаваторов, работающих в легких и средних грунтах против стандартной емкости. Н. Г. Домбровский считает рациональной работу экскаватора Э-505 с ковшом емкостью 0,75 $м^3$ в грунтах I—III категорий и в легких грунтах IV категории, с ковшом емкостью 1 $м^3$—в наиболее легких грунтах I категории и с ковшом емкостью 0,5 $м^3$—в тяжелых грунтах IV категории и взорванной скале. Экскаватор ЭО-3 может успешно работать с ковшом емкостью 5 $м^3$ в тяжелых грунтах III категории, легких и средних грунтах IV категории, а с ковшом емкостью 6 $м^3$—в грунтах I—II категорий и в легких и средних грунтах—III категории.

Применение ковшей увеличенной емкости дает увеличение производительности на 35% в грунтах I—III категорий и на 15%—в грунтах IV категории.

Целесообразно применять ковши повышенной емкости в легких и средних грунтах, так как при увеличении емкости ковшей время цикла возрастает медленнее роста емкости ковшей.

Практика передовых экскаваторщиков вполне подтвердила возможность и рациональность применения ковшей увеличенной емкости при разработке легких и средних грунтов. Механик П. И. Быков на вскрышных работах успешно заменил ковш экскаватора ЭО-3 емкостью 3 $м^3$ ковшом емкостью 5 $м^3$ и даже в грунтах IV и V категорий добился среднесуточного повышения производительности на 86%. Аналогичных результатов добился на Куйбышевгидрострое механик Б. Е. Коваленко, работавший с ковшом емкостью 4,5 $м^3$ в условиях влажного глинистого грунта[1]; месячная производительность экскаватора ЭО-3 с ковшом емкостью 4,5 $м^3$ достигла 110 тыс. $м^3$, тогда как производительность экскаватора с ковшом емкостью 3 $м^3$ была только 50 тыс. $м^3$.

Драглайны также могут работать со сменными ковшами увеличенной емкости.

По данным Н. Г. Домбровского, широкое внедрение ковшей повышенной емкости должно повысить производительность экскаваторного парка не менее чем на 12%.

§ 33. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КОМПЛЕКТНОСТЬ

Число ковшей $m_{ков}$, могущих быть погруженными в транспортный прибор, обычно рассматривают только с точки зрения удобства и быстроты разгрузки ковша. В некоторых книгах рекомендуют брать $m_{ков}$ не меньше

[1] Н. В. Разин. Механизация земляных работ на Куйбышевгидрострое. «Гидротехническое строительство» № 1, 1954.

2—3, в других—не менее трех. Рекомендуемые значения $m_{ков}$ колеблются в очень широких пределах и даются без должного обоснования.

Так как разгрузка ковша занимает только (0,04÷0,07) $t_ц$, то с точки зрения быстроты разгрузки величина $m_{ков}$ при неналипающих грунтах не может оказать значительного влияния на уменьшение $t_ц$. Однако имеются и другие, значительно более важные взаимосвязи между $K_{вр.\,см}$ и производительностью экскаватора, с одной стороны, и $m_{ков}$—с другой. Действительно, при повышении $m_{ков}$ уменьшается число подач к экскаватору транспортных приборов, уменьшаются потери времени на маневры при подачах и увеличивается $K_{вр.\,см}$.

На графике (рис. 128) показана зависимость $K_{вр.\,см}$ от $m_{ков}$ для экскаваторов с различной емкостью ковшей при отвозке грунта автомашинами.

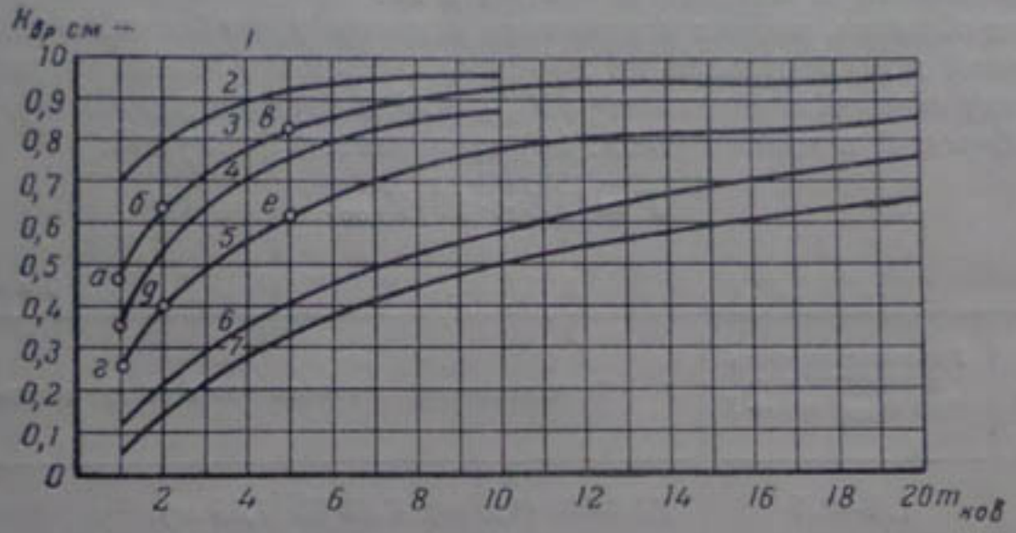


Рис. 128. Влияние числа ковшей, загружаемых в автомашины, на $K_{вр.\,см}$ экскаваторов:

1—$t_{ман}=0{,}93t_ц$ (в грунтах всех категорий); *2*—$t_{ман}=0{,}5$ *мин*, $t_ц=22$ *сек* (грунты III категории); *3*—$t_{ман}=0{,}5$ *мин*, $t_ц=15$ *сек* (грунты I категории); *4*—$t_{ман}=0{,}5$ *мин*, $t_ц=12$ *сек* (грунты I категории); *5*—$t_{ман}=1$ *мин*, $t_ц=15$ *сек* (грунты I категории); *6*—$t_{ман}=2{,}0$ *мин*, $t_ц=15$ *сек* (грунты I категории); *7*—$t_{ман}=3{,}0$ *мин*, $t_ц=15$ *сек* (грунты I категории).

Так как $K_{вр.\,см}$ пропорционально $K_{вр}$ и $K_{экс}$, то повышение $K_{вр.\,см}$ связано с таким же увеличением производительности экскаватора (при прочих равных условиях). Как видно из графика, кривые $K_{вр.\,см}=f(m_{ков})$ имеют крутой подъем в пределах значений $m_{ков}$ — от 2 до 4. Это показывает нерациональность принятия значений $m_{ков}$ в этих пределах, так как даже небольшое увеличение $m_{ков}$ существенно повышает коэффициент $K_{вр.\,см}$. Начиная со значений $m_{ков}=7$, кривые имеют медленный подъем. Таким образом, для повышения $K_{вр.\,см}$ целесообразно брать значения $m_{ков}$ в пределах 4—7.

При увеличении тоннажа автомашины или работе с прицепами (а увеличение $m_{ков}$ равносильно именно этим случаям) получается существенное удешевление транспортировки грунта. Поэтому можно прийти к выводу, что назначение $m_{ков}$ в пределах 4—7 не только рационально для повышения производительности экскаватора и удешевления стоимости экскавации, но и экономично с точки зрения стоимости транспортировки грунта, составляющей, например, на работах по постройке канала имени Москвы от 42 до 62% от стоимости всего комплекса экскаваторных работ. Аналогичное рассмотрение показывает, что $m_{ков}$ с точки зрения влияния его на $K_{вр.\,см}$ следует назначать и для железнодорожного транспорта в пределах 4—7.

Однако $m_{ков}$ оказывает влияние на производительность экскаватора не только через $K_{вр.\,см}$, но и через коэффициент $K_{тр}$, входящий одним из множителей в формулу производительности экскаваторов при работе их на транспорт. Проделанные автором расчеты для механических лопат показывают, что при $m_{ков}=1{,}44$ коэффициент $K_{тр}$ [формула (75)] всегда больше 0,72, при

$m_{ков}$ — 4,32 коэффициент $K_{тр} > 0{,}86$ и при $m_{ков} = 7{,}20$ коэффициент $K_{тр} > 0{,}90$. Таким образом, и для повышения коэффициента $K_{тр}$ значение $m_{ков}$ следует брать в пределах 4—7.

На Волгодонстрое производительность экскаватора СЭ-3 при погрузке в 25-тонный самосвал составляла 2800 *м³/смену*, в 10-тонный — 2000 и в 5-тонный — 1500 *м³/смену*[1]. А это значит, что повышение технологической комплектности с 1 до 2 и 5 имело результатом повышение производительности экскаваторов в 1,33 и в 1,9 раза. Из рисунка 128 можно видеть, что эти данные вполне сходятся с данными графика (кривая *3* точки *а*, *б*, *в* и кривая *5* точки *г*, *д*, *е*). При работе экскаватора СЭ-3 на Ангарэсстрое после замены автосамосвала МАЗ-205 ($m_{ков}=1$) на МАЗ-525 ($m_{ков}=5$) производительность экскаватора возросла в 1,4 раза; аналогичный результат был получен[2] и при работе драглайна с ковшом емкостью 2 *м³*.

Таким образом, теория и практика подтверждают большое влияние технологической комплектности на производительность экскаваторов. Взаимосвязь между емкостью экскаватора $V_{ков}$ в *м³* и грузоподъемностью транспортных приборов $Г$ в тоннах (табл. 14) выражается формулой:

$$Г = (5{,}5 \div 10)\, V_{ков}.$$

Таблица 14

Емкость ковша экскаватора в *м³*	Грузоподъемность самосвала в *т* при $m_{ков} = 4 \div 7$	Возможные марки самосвалов и их грузоподъемность
0,25	1,4—2,5	ГАЗ-410 (1,2 *т*); ГАЗ-93 (2,25 *т*)
0,50	2,8—5,0	КАЗ-600 (3,5 *т*); ЗИЛ-585В (3,5 *т*); МАЗ-205 (5 *т*)
0,75	4,1—7,5	КАЗ-600 (3,5 *т*); ЗИЛ-585В (3,5 *т*); МАЗ-205 (5 *т*); МАЗ-506 (6,5 *т*); ЯАЗ-218 (10 *т*); ЯАЗ-210Е (10 *т*)
1,0	5,6—10,0	МАЗ-205 (5 *т*); МАЗ-506 (6,5 *т*); ЯАЗ-218 (10 *т*); ЯАЗ-210Е (10 *т*)
2,0	11,2—20,0	ЯАЗ-218 (10 *т*); ЯАЗ-210Е (10 *т*); МАЗ-525 (25 *т*); Д-179А (~12 *т*)
3,0	16,8—30,0	МАЗ-525 (25 *т*); Д-179А (~12 *т*); Д-258 (~15 *т*)
5,0	27,5—50,0	МАЗ-525 (25 *т*); Д-258 (~15 *т*)

Как видно из таблицы, уже при емкости ковша экскаватора 5 *м³* даже столь мощные автомашины, как МАЗ-525, являются не вполне достаточными. Однако самосвалы МАЗ-525 оказывают очень большое давление на грунт и не всегда могут быть применены; так, при разработке котлована на Куйбышевгидрострое эти самосвалы пришлось заменить на МАЗ-205.

Как же обеспечить соблюдение требуемой технологической комплектности без увеличения грузоподъемности автосамосвалов?

Как видно из формулы (80), число ковшей, загружаемых в автомашину, не влияет на величину $K_{вр.см}$, когда $t_{маш} = 0{,}93\, t_ц$. Реальность такой работы

---

[1] В. М. Казарцев. Шире внедрять комплексную механизацию строительных работ. «Механизация строительства» № 9, 1954.

[2] Г. Н. Батенчук. Работа экскаваторов на Ангарэсстрое. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 1, 1955.

подтверждена практикой Сталинградгидростроя; такой же результат должен быть получен при работе по схеме двухточечной погрузки (рис. 129).

Соблюдение требуемой технологической комплектности без увеличения грузоподъемности автосамосвалов может быть достигнуто также применением прицепов. Так как время подачи прицепа под погрузку после окончания погрузки автосамосвала меньше $0{,}93\ t_ц$, то применение прицепов увеличивает технологическую комплектность, повышает производительность и снижает стоимость как экскаваторных, так и транспортных работ.

§ 34. ДВУХТОЧЕЧНАЯ РАЗГРУЗКА КОВША ЭКСКАВАТОРА

При угле поворота экскаватора на разгрузку, равном 90°, окружность, описанная из оси вращения экскаватора радиусом разгрузки r, касается оси транспортного хода. В этой точке и ставится автомашина. Уменьшение

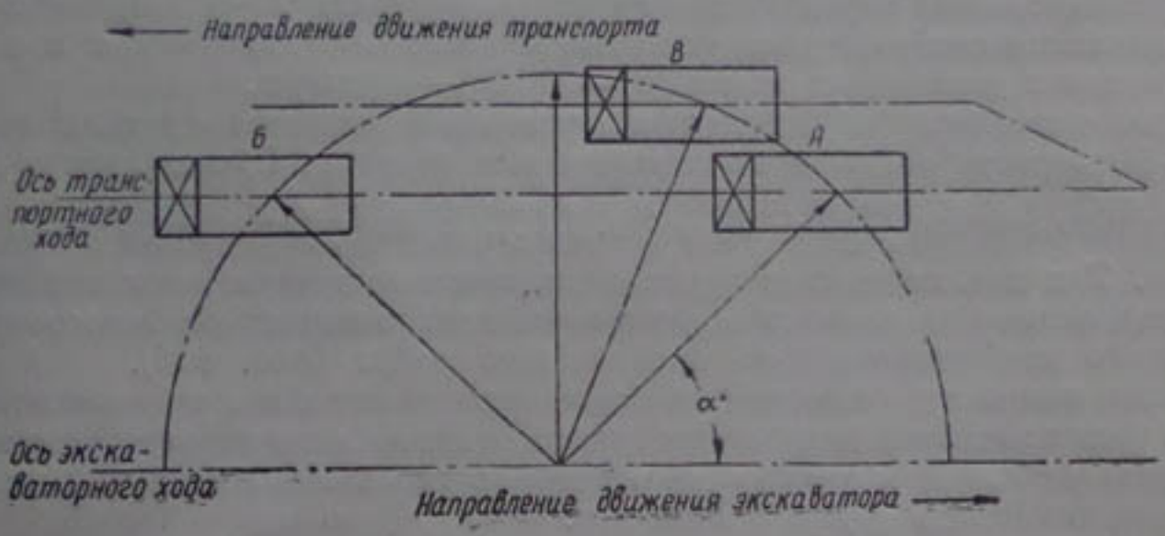


Рис. 129. Схема двухточечной погрузки.

угла поворота достигается при сближении осей экскаваторного и транспортного ходов; в этом случае указанная окружность пересекает ось транспортного хода в двух точках (рис. 129). В эти точки могут быть поставлены автомашины. Если организовать работу так, чтобы к моменту окончания погрузки автомашины в точке $А$ вторая автомашина уже была поставлена в точку $Б$, то экскаватор будет работать без потерь времени на смену автомашин. При разгрузке в автомашину, поданную в точку $А$, угол поворота экскаватора будет меньше 90°, а при разгрузке в автомашины в точке $Б$,—больше 90°. Средний угол поворота будет 90° и влияние сближения осей на уменьшение времени поворотов и на снижение времени цикла отпадает.

Если, однако, вторую автомашину поставить не в точку $Б$, а в точку $В$, рядом с первой, стоящей в точке $А$, то угол поворота будет меньше 90°. При такой схеме расстановки самосвалов не только устраняются потери времени экскаватора на смену автомашин, но и уменьшается время его цикла.

Однако этим не исчерпываются достоинства двухточечной погрузки; при указанной схеме возможна спаренная работа автомашин «двойками», увеличивающая вдвое технологическую комплектность, следствием чего является значительное повышение производительности экскаватора. Следовательно, применение двухточечной погрузки при спаренной работе автомашин «двойкой» решает одновременно три задачи: значительное повышение $К_{вр}$ экскаватора, уменьшение времени цикла экскаватора $t_ц$ и повышение технологической комплектности. Отсюда вывод, что описанная схема организации работ является хорошим средством повышения производительности экскаваторов, работающих на транспорт.

Само собой разумеется, что эта новая схема работы должна быть согласована с правилами техники безопасности.

§ 35. БЕСТРАНСПОРТНАЯ РАБОТА ЭКСКАВАТОРОВ

Механические лопаты имеют небольшую длину стрелы и работают почти исключительно на транспорт, причем стоимость транспортировки грунтов обходится значительно дороже стоимости экскавации.

При разработке механическими лопатами крупных ирригационных и осушительных каналов, подводящих и отводящих каналов к гидроузлам и судоходных каналов, когда грунт не должен отвозиться на далеко расположенные свалки, а подлежит укладке в кавальеры, расположенные вдоль канала, можно избежать дорогой транспортировки грунтов на автомашинах. Для этого следует применить значительно более дешевую комбинированную работу механической лопаты с бульдозером или скрепером; экскаватор будет разгружать разработанный грунт в промежуточный кавальер, а бульдозер или скрепер будет передвигать его на окончательное место.

При небольших передвижках грунта (в пределах 25—60 *м*) по технико-экономическим соображениям выгоднее применять бульдозеры, а при более значительных дальностях возки (60—300 *м*)—скреперы.

Указанные каналы небольших размеров в легких и средних грунтах могут быть разработаны драглайнами без перекидок. Однако, когда $R + r$ значительно меньше $\frac{B_{нап}}{2} + B_{кон}$ (см. § 18), приходится прибегать к перекидкам. Так как перекидка грунтов значительно дороже, чем передвижка их бульдозером или скрепером, то и здесь вместо перекидок целесообразнее применять комбинированную организацию работ (рис. 114).

Если позволяет техническая оснащенность стройки, то целесообразно при больших размерах каналов применять более мощные экскаваторы, например драглайны, в том числе и шагающие, с тем чтобы избежать перекидок и сразу укладывать грунт в кавальер.

§ 36. ГОДОВОЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ЭКСКАВАТОРОВ И ЕГО УПЛОТНЕНИЕ

Годовое время строительных экскаваторов разбивается для северного, среднего и южного районов СССР следующим образом:

1) неизбежные простои (праздники, капитальный и средний ремонты, консервация в северных районах) составляют для средних и южных районов 1344 часа; 2) эксплуатационные простои (переброски снарядов, монтаж и демонтаж, текущие ремонты и промывки)—3126—3416 часов; 3) рабочие простои (крепежный ремонт, переходы из забоя в забой, непогода)—1232—1376 часов; 4) рабочее время составляет 3400—4200 часов.

Эти нормативы Н. Г. Домбровский подверг серьезной критике и они должны быть пересмотрены в сторону увеличения рабочего времени.

§ 37. РАЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСКАВАТОРНЫХ РАБОТ

Мероприятия по комплексу экскаваторных работ сводятся к следующему.

1. Обеспечение экскаватора достаточным количеством транспортных приборов, работа его по графику с соблюдением расчетного интервала в подаче транспортных приборов к экскаватору. Следует помнить о прямой пропорциональности между степенью обеспечения экскаваторов транспортом и их производительностью.

2. Соблюдение технологической комплектности между экскаваторами и транспортными приборами значительно повышает использование экскаваторов во времени и их производительность.

3. Организация своевременного и качественного ремонта машин экскаваторного комплекса.

4. Организация рационального режима рабочей смены при трехсменной работе.

5. Организация бестранспортной работы экскаваторов.

6. Снабжение экскаваторов сменными ковшами разной емкости и стрелами разной длины.

7. Обеспечение экскаваторных работ табельным оборудованием, бульдозерами, грейдерами, передвижными мастерскими, водоотливными устройствами. Тракторные отвалы и грейдеры необходимы для разравнивания грунта на свалках, поддержания грунтовых дорог в хорошем состоянии, разработки недоборов на откосах, срезки гребешков между зубьями в забоях.

8. Устройство прожекторного освещения забоев, свалок, транспортных путей. Для полноповоротных механических лопат малой, средней и большой мощности нужно иметь прожекторы в 1800, 2500 и 5000 *вт*; при работе драглайнов следует удваивать интенсивность освещения; для освещения свалок, транспортных путей и района работ экскаватора необходимо устанавливать прожекторы на столбах высотой 10—12 *м* через 200 *м*.

9. Заблаговременное составление проекта организации работ экскаваторного комплекса с выбором наивыгоднейшего решения как по землеройным машинам, так и по транспорту и выбором схемы работ экскаваторов с наименьшим углом поворота.

10. Изучение работы экскаваторного комплекса, а именно: времени цикла экскаватора и факторов, на него влияющих; углов поворота экскаватора и возможностей их уменьшения; состояния машины и организации ремонтных работ; времени маневров и мер к их снижению; состояния транспортных машин и дорог, скоростей движения автомашин; схем путей в забое; организации разгрузки; распределения рабочего времени экскаваторов.

На основании изучения этих факторов должны систематически разрабатываться и осуществляться мероприятия по ликвидации узких мест и рационализации всего комплекса экскаваторных работ.

11. Диспетчерское руководство работами с быстрым принятием необходимых мер для ликвидации обнаруженных неполадок.

12. Для повышения производительности экскаваторов совершенно обязателен хороший учет работы. Такой учет достижим лишь при установке на экскаваторах автоматических приборов для записи числа часов чистой работы и числа ковшей. Для учета часов чистой работы И. Г. Домбровский предлагает ставить на пульте управления часы, включаемые рычагом поворотного механизма при выводе его из нейтрального положения, а для учета числа ковшей установку счетчика, отсчитывающего каждое включение поворотного механизма более чем на половину полного хода.

Мероприятия по забою сводятся к следующему: 1) разбивка выемок на забои с минимумом недоборов; поярусная разработка недоборов при работе механических лопат; 3) уменьшение угла поворота механических лопат и драглайнов, широко применяемое многими передовыми экскаваторщиками; 4) работа драглайнов по продольно-челночному методу; 5) двухточечная погрузка; 6) снижение $t_{маш}$ до минимума, равного 0,93 $t_ц$ (при отвозке автомобилями); 7) схема путей в забое, обеспечивающая минимальное значение $t_{маш}$ и $t_{см}$ (при железнодорожной отвозке); 8) погрузка автомашин через бункер; 9) надлежащая осушка забоев для сокращения времени на передвижку механических лопат и для обеспечения нормальных условий их работы; 10) обеспечение экскаваторов забоями нормальной высоты для получения $K_{нап}=1$ при однократном черпании; 11) применение удлиненных зубьев механических лопат, что повышает наполнение ковша при невысоких забоях на 10—15%.

Для усиления наполнения ковша полезно средние зубья делать более длинными, как это принято в новых моделях большегрузных скреперов Д-213 и Д-188, а также ставить боковые ножи.

Это мероприятие позволяет уменьшать нормальную высоту забоев $H_{з.\ норм}$, при которой наполнение ковша производится за одно черпание. При забоях достаточной высоты благодаря увеличению толщины стружки уменьшается длина пути резания, необходимая для заполнения ковша, а следо-

вательно, снижается время набора и время цикла экскаватора, повышается его производительность.

Увеличение толщины земляной стружки при наборе может быть достигнуто также работой механических лопат с короткими передвижками, когда рукоять выдвигается не на полную длину.

Так как передвижки экскаватора на гусеничном ходу занимают 2—4 минуты, производится через 3—4 часа и в это время происходит смена транспортных приборов, то некоторое увеличение числа передвижек лишь незначительно снижает чистое рабочее время экскаваторов. Поэтому результирующее влияние уменьшения длины передвижек при работе механических лопат на их производительность получается положительным.

Зависимость между усилиями на зубьях ковша P_1 и вылетом рукояти показана на рисунке 130. Так как при работе на малых и средних вылетах рукояти увеличивается фактическое напорное усилие на зубьях ковша, то в результате увеличивается толщина стружки и степень наполнения ковша, уменьшается время набора грунта и время цикла; снижается и минимальная высота забоев, обеспечивающая заполнение ковша при однократном черпании. Передовые экскаваторщики И. В. Марунин, А. И. Иванов, Ф. Ф. Федосеев, В. Е. Лахтарин, систематически вырабатывающие $1^1/_2$—$2^1/_2$ нормы, широко применяют работу на средних и малых вылетах стрелы и добиваются $K_{\text{нап}}=1{,}2 \div 1{,}3$.

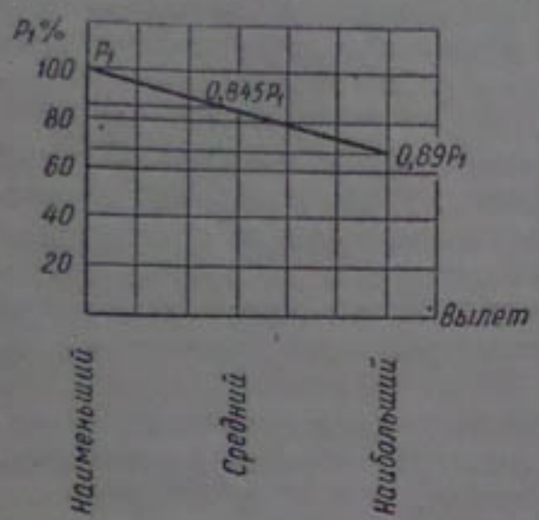


Рис. 130. Зависимость усилия на зубьях ковша от вылета рукояти.

Исключение составляет работа в сыпучих грунтах и забоях большой высоты, когда набор грунта производится в нижней части забоя и сопровождается обрушением верхней его части. В этом случае во избежание засыпания экскаватора обрушившимся грунтом передовики-механики работают на полном вылете стрелы.

Разгрузка грунтов, не прилипающих к ковшу, производится при среднем вылете рукояти и небольшой высоте ковша над кузовом автомашины, что сокращает время на выдвижение рукояти и подъем ковша.

Разгрузка тяжелых глинистых грунтов, особенно налипающих, производится обычно на полном вылете рукояти и поднятом ковше, так как при этом передняя стенка почти вертикальна и грунт более свободно выпадает из ковша. Для борьбы с налипанием грунта на стенки и дно ковша могут быть применены электроосмотическая очистка ковша, а также специальные ножи-скребки.

Заблаговременное производство взрывных работ исключает простой экскаваторов из-за неподготовленности породы взрывами. При этом необходимо обратить внимание на качество буровых и взрывных работ; размеры кусков взорванной породы не должны превышать 0,3—0,4 ширины ковша, а количество негабаритных кусков не должно быть больше 10%. Имеет значение и разброс породы при взрыве. Весьма важно, чтобы в основании не оставалось неподорванной скалы или мерзлых грунтов, так как дополнительная разработка их вызывает простои экскаватора.

По Н. Г. Домбровскому, при хорошем качестве буровых и взрывных работ можно удвоить производительность экскаватора, уменьшить затраты времени на ремонт и снизить количество аварий.

Большое значение имеют: высокое качество технологического процесса экскавации, квалификация и опытность экскаваторного механика, который должен хорошо знать свой экскаватор, тщательно ухаживать за ним, поддерживать его в исправном состоянии. Важно также, чтобы экскавация производилась по заранее выработанному плану, с использованием смены транс

портных приборов для набора грунта в наиболее удаленных точках забоя. Весьма существенное значение имеют также следующие передовые приемы: 1) разработка драглайнами горизонтальных слоев без глубоких узких полос; 2) работа в липких грунтах с резанием лишь частью режущей кромки; 3) плавная работа драглайнов, без рывков и резких торможений, с поддержанием работающих канатов в натянутом состоянии; 4) набор грунта на расстояниях, равных 4—6 длинам ковша, с немедленным выглублением из грунта ковша после его наполнения; 5) частая смазка (3—4 раза в смену) частей канатов, не соприкасающихся с грунтом; 6) наматывание на барабан двойного количества каната с отрубанием износившейся части и разматыванием запасной части его; 7) совмещение рабочих операций (набор рукояти на себя, подъем ковша и поворот на разгрузку); 8) подъем ковша лишь на необходимую для разгрузки высоту; 9) применение острых зубьев ковша и соответствующего характеру грунта угла резания; 10) наличие набора ковшей для разработки легких и тяжелых грунтов; 11) слаженность действий экскаваторного механика и машиниста паровоза или шофера автомашины.

Мероприятия по рационализации транспортировки грунта и разгрузки грунта сводятся к следующему: 1) поддержание автодорог в хорошем состоянии ($i \leqslant 0{,}060—0{,}080$, $W_0 \leqslant 60—80$ *кг/т*), при котором возможно движение автомашин с большими скоростями; 2) соблюдение расчетного интервала между автомашинами; 3) применение более мощных автомашин и работа с прицепами, как существенно удешевляющая стоимость транспортировки грунта, повышающая $K_{вр}$ экскаватора и его производительность; 4) работа «двойкой» при двухточечной разгрузке; 5) снижение, по возможности, подъемов в грузовом направлении для увеличения емкости железнодорож-

Рис. 131. Схема бесперегрузочного драглайна с передвижным бункером и транспортером-питателем

ных составов и автопоездов, что повышает и $K_{вр}$ экскаватора; б) применение автосамосвалов с разгрузкой по бокам, что снижает фактическое время разгрузки из-за отсутствия необходимости маневров и уменьшает количество автомашин, необходимых для обслуживания экскаваторов; 7) устройство на разгрузке автодорог с «усами», а железнодорожных разгрузочных путей — на предварительно устраиваемых насыпях с разравниванием разгруженного грунта машинами.

Мероприятия по рационализации конструкции экскаваторов проводятся в направлении увеличения скоростей рабочих движений и, прежде всего, скоростей поворота ковша, что осуществлено в советских моделях последнего выпуска, увеличения свободной силы резания на зубьях ковша.

Так как время поворота составляет около 60% времени всего цикла, то особенно эффективной была бы работа экскаваторов без поворотов. Возможная реализация этой идеи для драглайнов (по предложению автора) представлена на рисунке 131. Экскаватор разгружает грунт в бункер на пневматических колесах, присоединенный к экскаватору и передвигающийся вместе с ним. Из бункера грунт поступает в поперечный передвижной транспортер, подающий его в передвижной бункер, а далее в приборы перемещения.

Поперечный транспортер и бункер могут быть также присоединены к экскаватору, что устранит задержку на их перемещение во время передвижки экскаватора. Экскаватор разрабатывает грунт по рядом лежащим радиусам, так что время, затрачиваемое на поворот, близко к нулю.

Так как основные усилия в стреле возникают во время поворотов, то при подобной работе можно либо удлинить стрелу, либо увеличить объем ковша. Теоретически производительность экскаваторов возрастает в $2^1/_2$ раза и более.

Эта же идея разработана инж. Н. Д. Авериным, но в несколько иной форме.

§ 38. ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСКАВАТОРОВ НА ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ РАБОТАХ

Механические лопаты с ковшами емкостью до 1—3 $м^3$ предназначены для работы в достаточно широких выемках, с минимальной шириной по дну 6—10 $м$, глубиной не менее 3—4 $м$ и более, причем из-за небольшой длины стрелы работа производится почти исключительно на транспорт. Объем работы должен быть достаточно большим, чтобы подготовительные работы не легли слишком большой затратой на стоимость 1 $м^3$ грунта. В соответствии с этим механические лопаты могут быть использованы на разработке крупных магистральных оросительных, водосбросных и водосборных каналов, подводящих и отводящих каналов к гидроузлам и гидростанциям, на отрывке судоходных каналов, разработке карьеров. На постройке осушительных систем механические лопаты не применяются (кроме плавучих).

Минимальная ширина выемки при работе драглайнов значительно меньше, чем для механических лопат; поэтому они могут применяться на постройке и уширениях магистральных оросительных каналов в холостой и рабочей частях, распределителей и дамб обвалования (с ограничениями, которые связаны с уплотнением дамб), на отрывке водосборных и водосбросных каналов и коллекторов, разборке земляных перемычек, очистке крупных оросительных каналов.

При постройке осушительных систем драглайны могут применяться на работах по расширению и углублению водоприемников, постройке магистральных каналов и ветвей осушителей, разработке котлованов. Драглайны применяются главным образом при разработке выемок в отвал, что обходится дешевле работы на транспорт.

Применение драглайнов на осушительных системах ограничивается проходимостью машин; в некоторых случаях под экскаватор укладывают

специальные переносные щиты, что, однако, существенно удлиняет время передвижек экскаватора и снижает его производительность. Для осушительных работ более подходящими являются гусеничные болотные драглайны Э-352, Э-304, Э-653 и ТЭ-2М с давлением на грунт 0,15—0,20 *кг/см²*.

Вторым ограничением применения драглайнов при осушительных работах является пнистость болот, так как в этом случае производительность экскаваторов существенно уменьшается, иногда работа становится вообще невозможной. Поэтому на болотах с пнями и с погребенной древесиной следует применять указанные экскаваторы, оборудованные обратной лопатой.

Многоковшовые экскаваторы с поперечным черпанием типа ЭМ-302 можно применять для планировки откосов и на отрывке крупных магистральных оросительных каналов в рабочей и холостой частях, крупных распределителей, водосборных и водосбросных каналов и коллекторов, судоходных каналов. Достоинство этих экскаваторов—в возможности сочетания их работы с послойным уплотнением дамб. Однако многоковшовыми экскаваторами можно работать только в легких и средних грунтах без включения камней, что и ограничивает область их применения.

При осушительных работах применение многоковшовых экскаваторов ограничивается условиями их проходимости и пнистости болот.

Многоковшовые траншейные экскаваторы продольного черпания и обратные лопаты могут быть использованы при отрывке траншей для дренажа, прокладки водопровода и канализации, для ленточных фундаментов.

Экскаваторы со сменным оборудованием—грейфером—могут быть использованы для работы в узких местах (разработка перемычек, опускные колодцы), для подводной очистки водоприемников (при установке на плаву), а также для погрузочно-разгрузочных работ.

Глава X

ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННЫЕ РАБОТЫ И ИХ ОРГАНИЗАЦИЯ

§ 1. РАЗВИТИЕ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ В СССР

Начало применения гидромеханизации в нашей стране относится к 1840 г., когда на Урале были впервые использованы гидромониторы для размыва золотоносных песков. В США гидромеханизация для тех же целей была применена впервые 13 лет спустя—в 1853 г. Приоритет в области гидромеханизации принадлежит нашей стране. Равным образом русским ученым и инженерам принадлежит приоритет в разработке и развитии теории гидромеханизации (инж. П. П. Мельников, 1836; проф. И. А. Тиме, 1885; М. А. Шостак и В. Реутовский, 1894).

В 1915 г. русский инженер Р. Э. Классон изобрел гидравлический способ добычи торфа с размывом торфяной залежи гидромониторами и с перекачкой размытой массы на поля разлива для сушки. Способ Классона был по достоинству оценен В. И. Лениным и получил широкое развитие после Великой Октябрьской социалистической революции.

В 1929—1931 гг. на о. Челекене на добыче озокерита впервые в СССР была проведена совместная работа землесоса с гидромонитором; к 1929—1932 гг. относятся работы на Днепрострое по вскрыше каменного карьера, по выемкам и насыпям общим объемом около 1 млн. *м³*; на Днепрострое впервые в мире производились гидромеханизированные работы в зимнее время. Крупные работы (около 4 млн. *м³*) по планировке и намыву площади под цехи заводов Азовстали производились в 1934—1935 гг.; гидромеханизация применялась также на строительстве Туломской и Чирчикской гидростанций. Интересные гидромеханизированные работы производились в 1930—1931 гг. на Невдубстрое, где был выполнен сложный процесс выемки гидроэлеватором котлована в плывунах.

Широко применялась гидромеханизация на строительстве канала имени Москвы в 1935—1937 гг. Здесь посредством гидромеханизации было выполнено 11 млн. $м^3$ земляных работ, проведены исследования по гидротранспорту и сконструирован землесос ЗГМ-1, применяющийся и в настоящее время. Здесь использовались как гидромониторные установки с надводной разработкой забоев, так и плавучие землесосные установки с подводным засасыванием грунта.

Гидромеханизация в крупном масштабе (8 млн. $м^3$) применялась также на строительстве плотин и дамб Рыбинского и Угличского гидроузлов на р. Волге и с успехом использовалась на строительстве высочайшей земляной плотины (до 82 *м*) Мингечаурской гидроэлектростанции на р. Куре.

Исключительно крупный размах приобрели гидромеханизированные работы на Волгодонстрое, причем здесь были достигнуты рекордные темпы намыва по высоте (60 *см* в сутки), ежемесячной кубатуре намыва (5,2 млн. $м^3$ против 4 млн. $м^3$ при намыве плотины Форт-Пек в США), по кубатуре намыва за один год—25 млн. $м^3$. На постройке Куйбышевской, Сталинградской, Камской, Горьковской, Каховской, Новосибирской и других гидростанций гидромеханизацией выполнено от 70 до 90% всех земляных работ.

Значительно расширяется применение гидромеханизации при добыче заполнителей бетона; имеются примеры разработки карьеров песка и песчано-гравелистой массы исключительно способом гидромеханизации.

Гидромеханизация за последние годы получила широкое развитие на очистке оросительных каналов с их огромными масштабами работ (120—130 млн. $м^3$ ежегодно).

За последнее десятилетие гидромеханизация начала применяться при кессонных работах, например на постройке Новодарницкого моста в Киеве, Коломенского моста через р. Оку, железнодорожного моста через р. Днепр.

Советские ученые и инженеры разработали и освоили ряд новых методов, значительно повышающих производительность труда и снижающих стоимость гидромеханизированных работ. К ним относятся:

1) безэстакадный, тонкослойный и низконапорный намыв, с быстроразъемными трубами;

2) повышение консистенции пульпы при засасывании ее землесосом и при гидротранспорте;

3) новейшие сверхмощные конструкции землесосов производительностью по пульпе в 3000, 5000 и 10 000 $м^3/час$, с напором соответственно 40, 54 и 80 *м*;

4) исследования по установлению рациональных скоростей при гидротранспорте (Г. Н. Кнороз, А. П. Юфин, Г. Н. Роер, М. А. Дементьев и др.);

5) предварительное перед началом размыва обрушение и разрыхление забоев (В. И. Карцев и др.);

6) регулируемый транспорт пульпы от забоя к приемному колодцу землесоса;

7) зимний намыв (В. Д. Журин, А. И. Огурцов и др.);

8) автоматизация работы земснарядов.

Советские специалисты, работающие в области рационализации гидромеханизированных работ, добились в этом деле серьезных успехов. Кроме упомянутых выше специалистов, назовем еще Н. Д. Холина и П. П. Дьякова, внесших много нового в производство гидромеханизированных работ.

§ 2. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ

Гидромеханизированными земляными работами называют такие, в которых те или иные части процесса или весь процесс в целом совершаются с помощью воды. Так, например, водой, вытекающей под значительным напором из гидромонитора, можно размывать грунт, а смесь воды с грунтом, называемую пульпой, можно транспортировать по трубам и лоткам и укладывать ее в земляные плотины или дамбы.

Наиболее подходят для гидромеханизированной разработки несвязные или малосвязные грунты некрупных фракций (пески, супеси, легкие суглинки), легче разрыхляемые действием воды и приобретающие при укладке водой надлежащую плотность.

Однако в последнее время начал применяться ряд новых способов, расширяющих область гидромеханизации и на более плотные грунты (суглинки, глины): предварительное рыхление взрывами, экскаваторами, бульдозерами, низконапорной водой по способу Карцева, предварительное замачивание, применение нового типа роторно-напорного земснаряда и пр.

Гидромеханизация широко применяется при строительстве земляных плотин, для намыва подходов к местам, при разработке котлованов, намыве для устройства противоволновых креплений, зачистки дна котлованов, планировки аэродромов и пр.

Гидромеханизация находит в настоящее время широкое применение и на работах по очистке ирригационных каналов и отстойников, смыву «рашей» (отвалов от очистки ирригационных каналов гидромониторами и т. д.).

В крупных масштабах используется гидромеханизация при добыче, сортировке и обогащении заполнителей бетона—песка и гравия. Так, на строительстве Мингечаурской ГЭС добыто из карьеров 1,25 млн. $м^3$ гравийно-песчаной массы с разделением ее на три фракции; на строительстве Камской ГЭС добыто более 1,3 млн. $м^3$ гравийной массы, а на строительстве Волжской ГЭС имени Ленина—более 2,6 млн. $м^3$ песка для бетона.

Широко применяется гидромеханизация для быстрого намыва русловых плотин после первичного их перекрытия каменным банкетом. Имеются примеры перекрытия русла песчано-галечным грунтом, подаваемым землесосами, без отсыпки каменного банкета. В последнее время гидромеханизация начала применяться для добычи угля в шахтах и на других горнодобычных работах.

Еще недавно гидромеханизация использовалась только в теплое время года и была сезонной работой; в последнее время на некоторых стройках гидромеханизация довольно успешно применяется и в зимнее время.

§ 3. КОНСИСТЕНЦИЯ ПУЛЬПЫ

Содержание грунта в пульпе зависит от ее консистенции.

Консистенцию пульпы определяют либо по объему, либо по весу содержащихся в ней частиц грунта, причем в обоих случаях содержание их определяют или по отношению к воде или по отношению к пульпе. В соответствии с этим объемная консистенция определяется по формуле:

$$K_{об} = \frac{V_{гр}}{V_{в}}, \tag{87}$$

или по формуле:

$$K_{об} = \frac{V_{гр}}{V_{в} + V_{гр}}, \tag{87а}$$

где $V_{гр}$ и $V_{в}$ — объемы грунта и воды в единице объема пульпы.

Консистенцию пульпы выражают либо отношением $1 : n$, показывающим, что на единицу грунта приходится n единиц воды, либо в процентах. Если объемную консистенцию пульпы выражают отношением $1 : n$, то это обозначает содержание в пульпе $\frac{100}{1 : n}$ процентов грунта. Весовая консистенция определяется по формуле:

$$K_{вес} = \frac{P_{гр}}{P_{в}} \tag{88}$$

или по формуле:

$$K_{вес} = \frac{P_{гр}}{P_в + P_{гр}}, \tag{88а}$$

где $P_{гр}$ и $P_в$ — веса грунта и воды в единице объема пульпы.

Так как вес грунта $P_{гр} = V_{гр}\gamma_{гр}$, где $\gamma_{гр}$ — объемный вес грунта, то

$$K_{вес} = K_{об}\gamma_{гр}. \tag{89}$$

Удельный вес пульпы $\gamma_п$ может быть подсчитан по формуле:

$$\gamma_п = \left(1 - \frac{K_{об}}{100}\right)\gamma_в + \frac{K_{об}}{100}\Delta, \tag{90}$$

где $\gamma_в$ — удельный вес воды, равный единице;

Δ — удельный вес частиц грунта;

$K_{об}$ — объемная консистенция пульпы в процентах.

Так как $\gamma_в = 1$, то формулу (90) можно переписать в виде:

$$\gamma_п = (1 - 0{,}01K_{об}) + 0{,}01K_{об}\Delta = 1 + 0{,}01K_{об}(\Delta - 1).$$

Значение удельного веса пульпы при равных ее консистенциях приведено в таблице 15.

Таблица 15

Грунт	Объемный вес в т/м³	Удельный вес частиц в т/м³	Объемная консистенция в %					
			10	20	30	40	50	60
Песок крупный	1,65	2,6	1,16	1,32	1,48	1,64	—	—
Песок мелкий и средний .	1,3	2,6	1,16	1,32	1,48	1,64	1,80	—
Суглинок и супесь	1,7	2,2	1,12	1,24	1,36	1,48	1,60	1,72
Гравий и галька	1,6	2,7	1,17	1,34	1,51	—	—	—

Консистенция пульпы оказывает огромное влияние на производительность и стоимость гидромеханизированных работ. Чем выше консистенция, тем лучше используется вода, тем больше производительность, следовательно, тем ниже стоимость работ. Поэтому основной задачей гидромеханизаторов, доминирующей при разрешении всех вопросов гидромеханизации, должно быть максимальное повышение консистенции пульпы.

Консистенция пульпы зависит как от характера грунта, так и от способа организации работ. Советскими инженерами разработаны и применяются различные методы повышения консистенции пульпы, что позволяет существенно увеличить производительность труда на гидромеханизированных работах. Следует считать вполне достижимой консистенцию пульпы в пределах 1 : 2—1 : 5. Приведем несколько примеров.

При сооружении железнодорожных насыпей на подходах к Каховскому гидроузлу было уложено несколько миллионов кубометров грунта при консистенции пульпы 1 : 4—1 : 5.

Во время производственных испытаний земснаряда 8НЗА с автоматическим управлением на Кунавинском песчаном карьере Московско-Курской железной дороги (1953 г.) этот снаряд засасывал смесь устойчивой консистенции 1 : 4—1 : 6 и даже 1 : 3 (но на режиме кавитации)[1].

Профессор Н. Д. Холин указывает, что возможность работы с удельным расходом воды, равным 2—3, подтверждена многочисленными исследованиями и практикой; он предлагает пересмотреть нормы и утверждает, что на базе опыта передовых строек имеются все возможности для уменьшения удельного расхода воды до 5—6, а коэффициента использования землесосов во времени до 0,75. Этого же мнения придерживается и Г. Н. Роер.

---

[1] А. С. Бутов, Д. В. Рощупкин, Г. А. Кошлаков. О повышении эффективности гидромеханизации. «Механизация строительства» № 5, 1955.

Трест «Гидромеханизация» изготовил и испытал[1] новый тип роторно-напорного землесоса, который во время испытаний давал устойчивую пульпу консистенции 1 : 2 и даже 1 : 1,5.

Научные исследования и лабораторные испытания последнего времени показали возможность значительного повышения консистенции пульпы. На разрешение этой задачи, а также на повышение использования землесосов во времени направлена творческая мысль наших ученых и производственников.

Для рациональной работы по намыву и гидротранспорту весьма важно обеспечить также равномерность консистенции пульпы во времени.

§ 4. СОСТАВ И ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННЫХ РАБОТ

Гидромеханизированные работы можно вести с надводной или подводной разработкой грунта. В первом случае работы состоят из следующих операций: получения воды под напором и подводки ее к гидромониторам; разработки грунта водой, подаваемой гидромониторами; транспортировки пульпы от забоя к приемному колодцу (зумпфу); засасывания пульпы из приемного колодца землесосом с подачей в напорные пульповоды; гидротранспорта пульпы к месту укладки (земляные плотины, дамбы, намываемые площадки); укладки пульпы в намываемые сооружения; сброса с намываемого сооружения части пульпы с наиболее мелкими частицами (0,005 *мм* и менее до 0,05 *мм*); осветления пульпы в специальных отстойниках и сброса ее в реку. При недостатке воды осветленная вода может засасываться насосами и снова использоваться для размыва (водооборот).

При подводной разработке грунт засасывается землесосами с рыхлителями или без них и пульпа подается в напорный пульповод, через который она поступает в намываемое сооружение, где и откладывается грунт, а вода с некоторым количеством мелких частиц отводится.

Если карьер расположен выше (по рельефу) места намыва, то транспортировать пульпу можно самотеком по лоткам или трубам; в этом случае отпадает работа землесосов. Такие работы стоят значительно дешевле, но могут быть применены лишь в особо благоприятных условиях рельефа, так как для лотков, транспортирующих пульпу, требуются значительные уклоны—0,015—0,035 (плотины Майкопской ГЭС, частично Каховской и Кайракумской ГЭС).

К характерным особенностям гидромеханизированных работ относятся:

1) высокая производительность при сравнительно простом оборудовании, имеющем значительно меньший вес и стоимость, чем при других способах разработки, например экскаваторами;

2) небольшое количество рабочих и высокая производительность труда;

3) высокое качество намываемых плотин и дамб, главным образом в отношении плотности укладки грунта;

4) возможность постройки земляных плотин в воде без дорогостоящих и осложняющих работу перемычек;

5) возможность подводной разработки неогражденных еще перемычками котлованов с одновременной отсыпкой перемычек, что сокращает срок окончания строительства и удешевляет работы (котлованы Куйбышевского, Горьковского, Каховского, Сталинградского и других гидроузлов разрабатывались именно таким способом);

6) отсутствие дорогостоящих выездов и съездов при разработке глубоких выемок и котлованов;

7) меньшая стоимость (при хорошей организации работ) по сравнению с другими видами механизации земляных работ.

---

[1] В. А. Мороз. Роторно-напорный землесосный снаряд ЗГМ-1. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 7, 1956.

Стоимость гидромеханизированной разработки зависит от характера грунта, консистенции пульпы, использования землесосных установок во времени, организации работ, стоимости энергии, высотного расположения разрабатываемых забоев.

При хорошей организации гидромеханизированные работы имеют экономическое преимущество перед работой сухопутными землеройными машинами, в некоторых случаях, например при разработке тяжелых грунтов, выгодной может оказаться комбинированная работа.

Отрицательными сторонами гидромеханизации до последнего времени принято было считать: применимость ее к разработке преимущественно легких, малосвязных грунтов, сезонность, ограничивающая период работ теплым временем года, и короткие расстояния транспортировки (без перекачек); последние объясняются небольшими напорами, развиваемыми землесосами, и большими потерями напора при транспортировании пульпы.

В послевоенный период советскими инженерами разработаны и внедрены в производство новые методы работ, а промышленностью выпущены новые типы землесосов с большими расходами и напорами. Разработаны способы размыва тяжелых грунтов, внедряется производство работ в зимнее время; выпущены новые землесосы 300-40, 500-60 и 1000-80 (первое число обозначает производительность землесоса по грунту в *м³/час*, а второе—развиваемый землесосом напор в *м*). Таким образом, отрицательные стороны гидромеханизации постепенно преодолеваются.

При гидромеханизации потребляется значительное количество электроэнергии (от 3 до 15 *квт·ч/м³*) и воды; в случае недостатка воды можно организовать водооборот, тогда расход воды ограничивается потерями на испарение, фильтрацию и утечки.

§ 5. ПОЛУЧЕНИЕ НАПОРНОЙ ВОДЫ ДЛЯ РАЗМЫВА ГРУНТОВ ГИДРОМОНИТОРАМИ

Напорная вода для размыва грунтов доставляется от насосных станций, которые могут быть либо плавучими в случае крупных установок, либо сухопутными при малых установках.

Производительность (расход) насосов определяется количеством и типом применяемых гидромониторов, а также характером разрабатываемого грунта. Напор насосов определяется суммой геометрических высот подачи, потерь в пути, потерь в гидромониторе и в его насадке.

Напорные трубопроводы ввиду больших давлений обычно выполняют металлическими.

Стоимость 1 *м³* воды под напором для размыва зависит от расхода воды, стоимости электроэнергии и длины трубопровода. По расчетам автора, при стоимости, например, 1 *квт·ч* электроэнергии 15 коп. и длине трубопровода от 0,5 до 2 *км* стоимость 1 *м³* воды составляет 10—11 коп.

По СН и П расход воды на 1 *м³* разрабатываемого грунта составляет (табл. 16):

Таблица 16

Грунт	Гидромониторная разработка в *м³*	Подводная разработка землесосами в *м³*
Песок	6—9	8—12
Супесь	6—9	10—12
Суглинок	7—9	10—22
Глины	9—14	22
Песчано-гравелистый	12—14	15—22
Лесс	6—7	—

Эти нормы на многих работах были меньше, что повышало производительность труда и снижало их стоимость.

Необходимо стремиться к сокращению воды для размыва, т. е. к повышению консистенции пульпы в забое.

§ 6. РАЗМЫВ ГРУНТА ГИДРОМОНИТОРАМИ

Гидромониторы. Размыв грунта совершается струей воды, вытекающей под напором из гидромонитора с очень большими скоростями—25—60 *м/сек*. Часть воды проникает в поры грунта и этим вызывает энергичное его разрушение, часть же воды размывает грунт, протекая с большой скоростью вдоль стенки забоя.

При размыве песчаных грунтов преобладает разрушение, а глинистых—размыв.

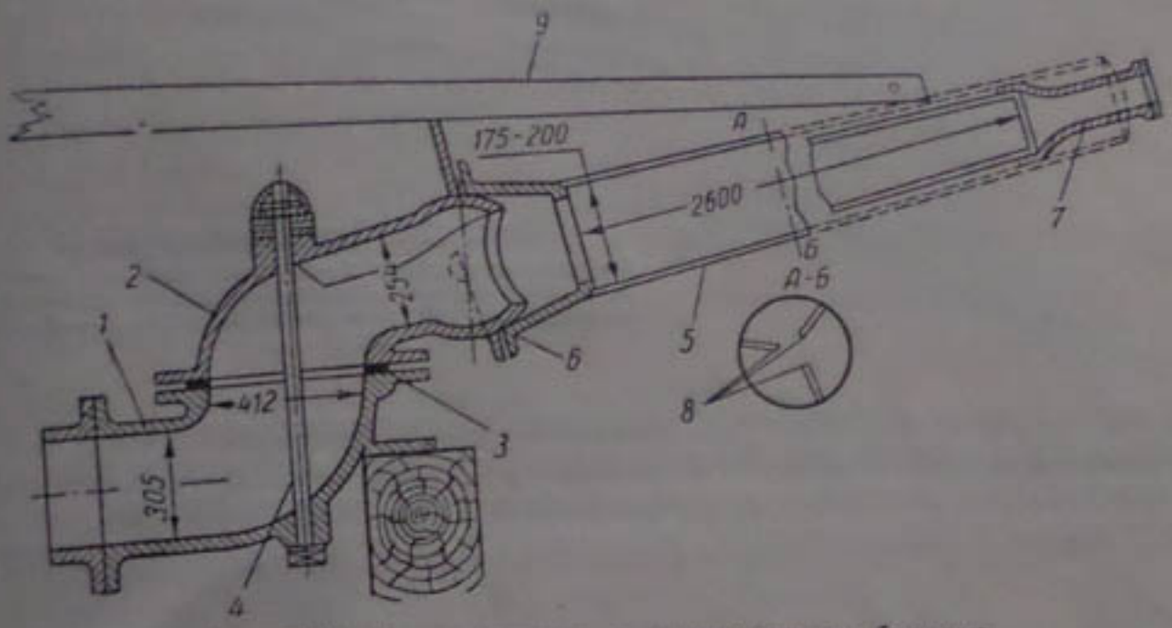


Рис. 132. Гидромонитор с центральным болтом:

1—нижнее колено; *2*—верхнее колено; *3*—кожаная прокладка; *4*—центральный стягивающий болт; *5*—коничесний ствол; *6*—вращающийся фланец; *7*—насадка; *8*—направляющие ребра внутри ствола; *9*—водило.

До последнего времени широкое распространение на стройках имел чугунный гидромонитор с центральным болтом (рис. 132), представляющий собой брандспойт с двумя шарнирами, вокруг которых его можно вращать в горизонтальной плоскости на 360° и в вертикальной на 50—60°.

Недостаток гидромониторов этого типа состоит в их большом весе, что затрудняет передвижку: для достижения высокой производительности по грунту и наиболее продуктивного использования напорной воды требуется непрерывная перестановка гидромониторов с подтягиванием их как можно ближе к забою. Эти гидромониторы имеют неудовлетворительное крепление центрального болта, что вызывает потери воды и напора.

Промышленность выпускает новые гидромониторы ГМ-2 и ГМН-250.

Гидромонитор ГМ-2 (рис. 133) не имеет центрального болта; нижнее колено *1* соединено с верхним *2* болтами, стягивающими фланец верхнего колена с фланцем-обоймой. Верхнее колено вращается относительно нижнего на шариках. Гидромонитор ГМ-2 выполнен из ковкого чугуна; вес его, в зависимости от диаметра монитора, составляет от 134 до 294 *кг*, т. е. легче старых конструкций более чем вдвое. Между нижним и верхним коленами находится штампованная кожаная манжета, прижимаемая напором воды к напорному фланцу; это обеспечивает плотное соединение колен. Для облегчения передвижки гидромонитор поставлен на металлические салазки *9*.

Модернизированный гидромонитор ГМН-250 (рис. 134) производительностью 100—200 *л/сек* без центрального болта изготовляется серийно из штампованных тонких стальных листов (толщиной 2—3,5 *мм*) и фасонных стальных отливок.

Гидромониторы ГМН-250 имеют ряд достоинств:

1) потери напора уменьшены в $1^1/_2$—2 раза, или на 2,72 *м* при расходе в 180 *л/сек*; это значительно сокращает расход электроэнергии;

2) струя формируется насадком с небольшим углом конусности (0°31′—1°2′), что улучшает качество струи и повышает эффективность ее воздействия на грунт;

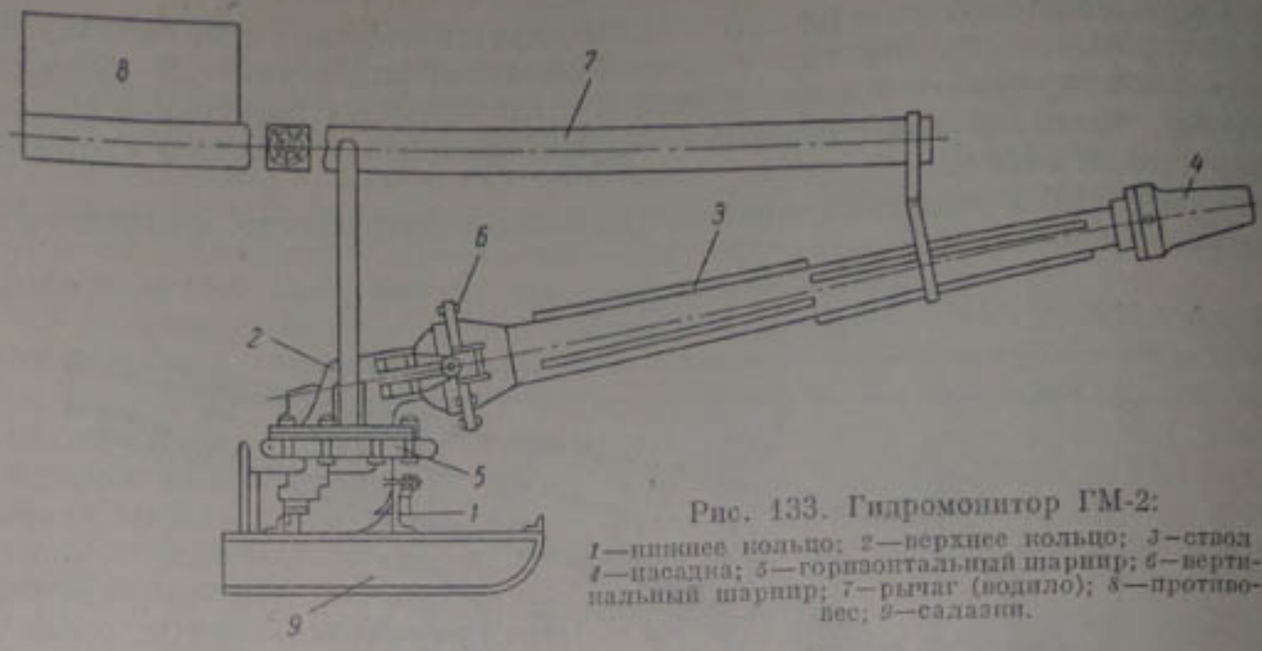


Рис. 133. Гидромонитор ГМ-2:
1—нижнее кольцо; *2*—верхнее кольцо; *3*—ствол *4*—насадка; *5*—горизонтальный шарнир; *6*—вертикальный шарнир; *7*—рычаг (водило); *8*—противовес; *9*—салазки.

3) значительно облегчено управление гидромонитором как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях благодаря отсутствию расширения в горизонтальном шарнире и уменьшению веса гидромонитора. Так, при напоре у входа в гидромонитор, равном 50 *м*, для поворота в горизонталь-

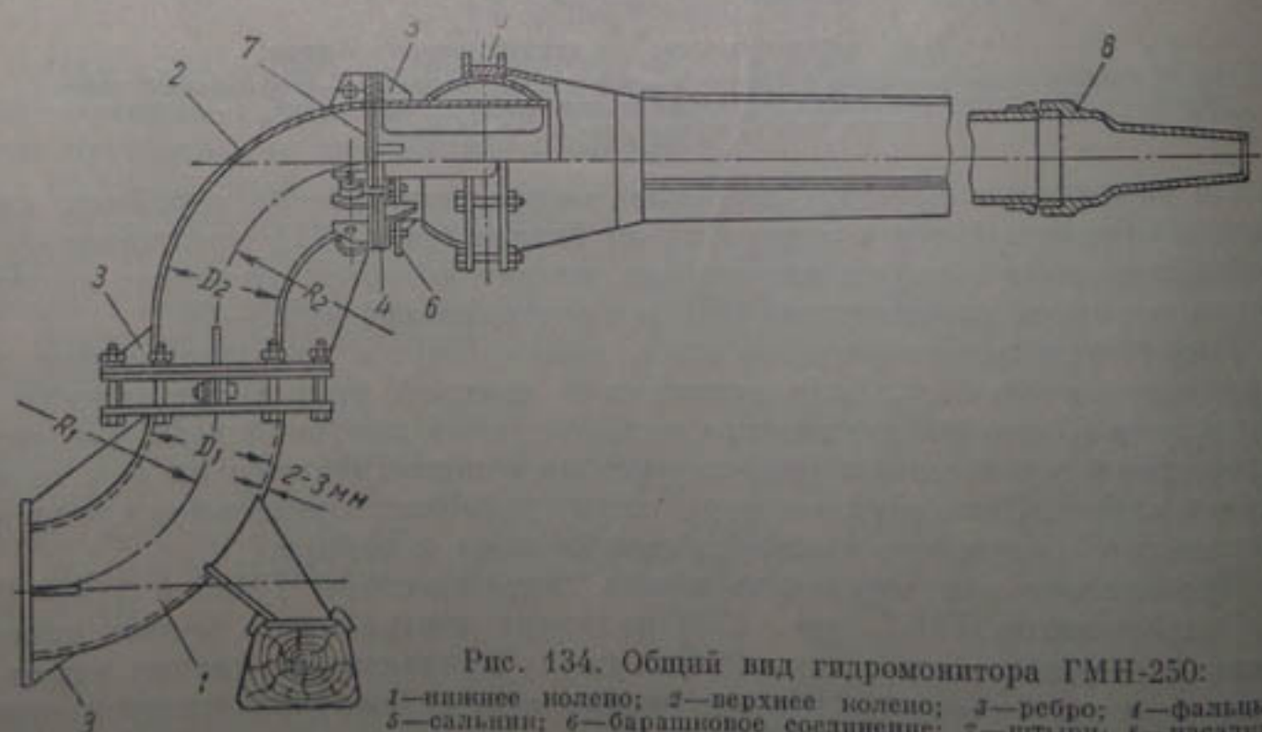


Рис. 134. Общий вид гидромонитора ГМН-250:
1—нижнее колено; *2*—верхнее колено; *3*—ребро; *4*—фальцы; *5*—сальник; *6*—баранковое соединение; *7*—штыри; *8*—насадка.

ной плоскости требуется усилие 3 *кг* и в вертикальной 5 *кг*, тогда как, например, для ГМ-2 потребные усилия для поворота соответственно равны 8 и 18 *кг*;

4) производительность ГМН-250, как показали его испытания, на 63—98% выше производительности гидромониторов других конструкций, работающих в аналогичных условиях.

Кроме гидромониторов ГМН-250, сконструированы также новые гидромониторы ГМН-150, ГМН-200 и ГМН-300.

Производство работ по размыву. Для размыва грунта монитор устанавливают внизу, у подошвы забоя; струю монитора направляют в подошву забоя и подмывают ее (подбой), вследствие чего происходит обрушение верхней части забоя, сопровождающееся разрыхлением грунта (рис. 135, *а*). После этого смывают обвалившийся грунт.

Таким образом, размыв состоит из двух этапов: п о д б о я забоя и с м ы в а обрушившегося грунта.

Гидромонитор следует двигать плавно и медленно по всей ширине забоя, без рывков и остановок. Таким путем опытные гидромониторщики добиваются получения густой по консистенции и равномерной пульпы.

Так как на подбой расходуется значительно большее количество воды, чем на смыв обрушенного грунта, то для создания пульпы равномерной консистенции целесообразно разрабатывать одновременно несколько забоев, причем одни мониторы будут производить подбой, а другие смыв грунта.

На консистенцию пульпы сильно влияет расстояние монитора от забоя; чем оно меньше, тем выше консистенция и тем больше производительность монитора по грунту.

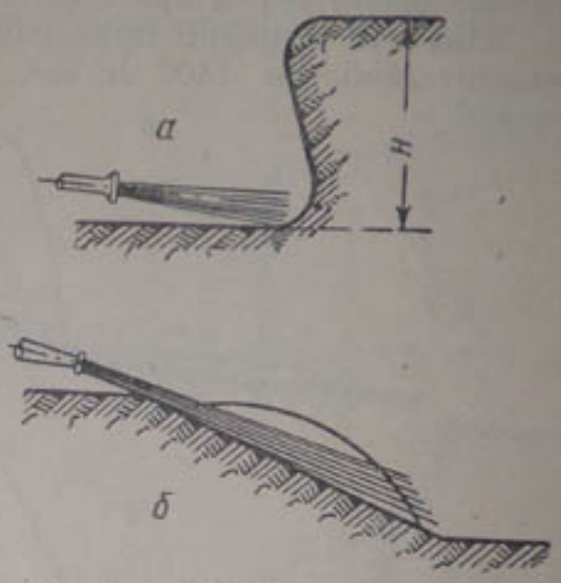


Рис. 135. Размыв грунта:
а—снизу с подбоем; *б*—сверху вниз.

Правила техники безопасности допускают установку гидромонитора от забоя на расстоянии L не меньшем, чем высота H забоя (рис. 135). Это требование основано на предположении об опрокидывании столба грунта высотой H, подмытого снизу. В действительности, однако, грунты, в зависимости от их физических свойств, обрушиваются по-разному: лессы падают стеной (рис. 136, *а*), глины и супеси сползают (рис. 136, *б*), пески образуют определенный угол естественного откоса.

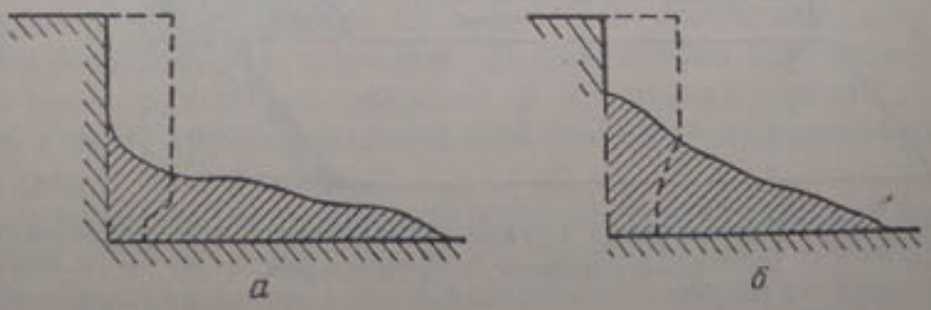


Рис. 136. Обрушение различных грунтов:
а—лессов; *б*—глин и супесей.

П. П. Дьяков рекомендует определять минимальную дальность установки гидромонитора от стенки забоя с учетом свойств грунта по формуле: $L=\alpha H$, где α—коэффициент обрушения, значение которого можно принимать: для лесса 1,2; песка с примесью гальки 0,6; суглинка 0,4; глины 0,1. Величину α необходимо проверять перед началом разработки. С уменьшением расстояния гидромонитора от забоя увеличивается число передвижек; чем ближе к забою ставится гидромонитор, тем чаще нужно его передвигать.

Для каждого забоя при данном расходе и напоре монитора имеется такое оптимальное расстояние его от забоя (дальность боя), при котором стоимость разработки грунта с учетом стоимости передвижки монитора получается минимальной. Это расстояние нужно определять в начале работ, учитывая два обстоятельства. Во-первых, стоимость передвижения монитора составляет незначительную часть общей стоимости размыва—около

1,5% (4—6 коп. на 1 $м^3$ при объеме забоя, разрабатываемого монитором с одной стоянки, около 300 $м^3$). Во-вторых, увеличение консистенции пульпы влечет за собой удешевление не только размыва, но и всех остальных циклов гидромеханизации, полная же стоимость 1 $м^3$ гидромеханизированной разработки грунта составляет, в зависимости от рода грунта, от 1,2 до 4 руб. и более. Отсюда следует, что экономически выгодно ставить монитор возможно ближе к забою.

Расстояние монитора от забоя следует определять также из условий техники безопасности и минимальной длины передвижки, определяемой длиной одной трубы при подаче воды к монитору трубами.

Имеются примеры применения шагающей землесосной установки производительностью 1400 $м^3/час$, которая может передвигаться по мокрой

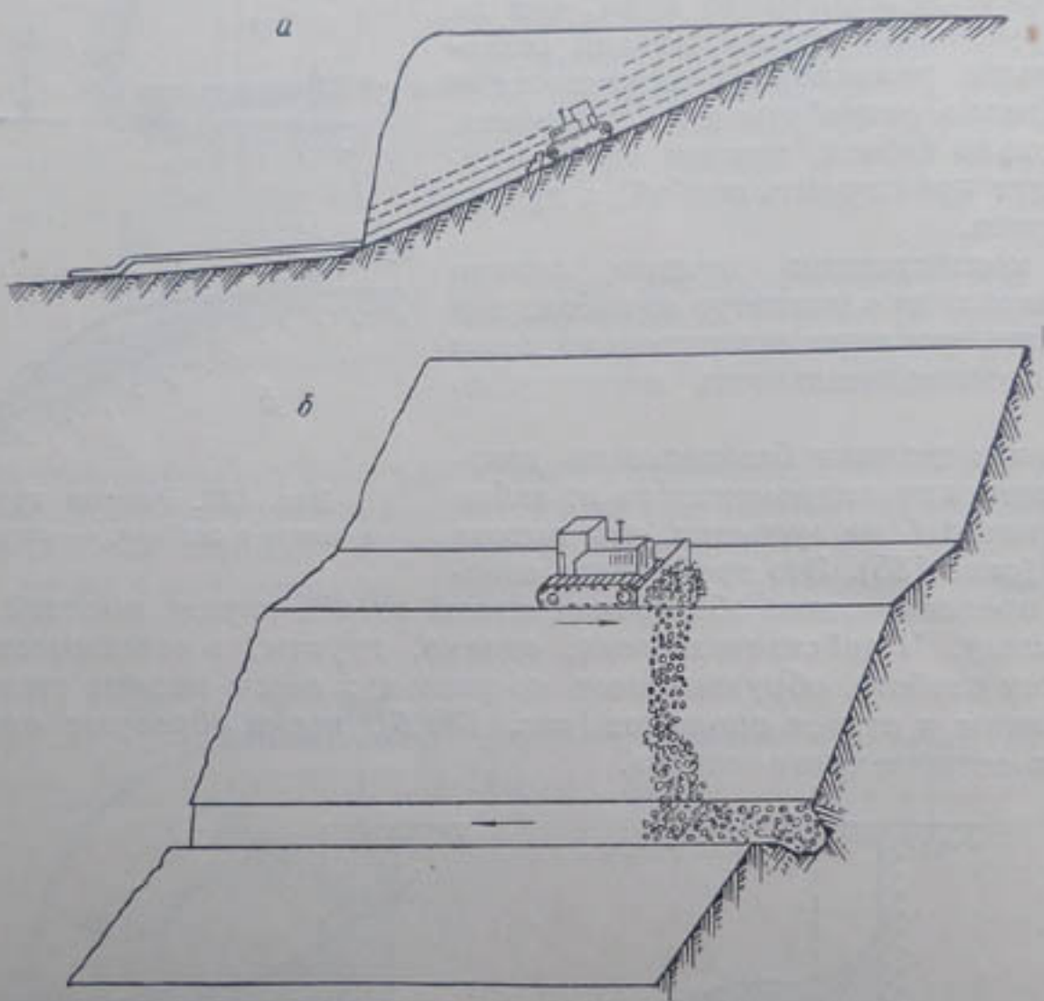


Рис. 137. Разрыхление грунта бульдозером при движении:
а—поперечном; *б*—продольном.

подошве забоя со скоростью 22 *м/час*; удельное давление на грунт 0,19 $кг/см^2$ во время работы и 0,50 $кг/см^2$—при передвижке. Установка передвигается вслед за гидромонитором, что сводит к минимуму расстояния установки от забоя; следствием этого является повышение консистенции пульпы, уменьшение недоборов и простоев при передвижках.

Для повышения консистенции пульпы при разработке связных грунтов, требующих для размыва больших количеств воды, применяются способы предварительного рыхления грунта взрывами, водой под небольшим напором, экскаваторами, бульдозерами.

Рыхление грунта экскаваторами и бульдозерами весьма эффективно, так как комбинированная работа струи воды и механического рыхления не только повышает производительность струи гидромонитора, но и значительно увеличивает производительность машин, производящих рыхление и работающих в отвал.

При рыхлении грунта бульдозерами целесообразно применять универсальные машины, которые могут работать по челночной схеме, двигаясь

по берме, и сбрасывать грунт вниз под откос, где он и разрабатывается гидромониторами (рис. 137, *а*). Для ликвидации холостых ходов целесообразно устанавливать два отвала ножа—передний и задний. Возможна, однако, работа бульдозера при поперечном его движении к бровке забоя (рис. 137, *б*).

Предварительное рыхление массовыми взрывами плотных суглинков широко применялось на строительстве Чирчикских гидростанций и канала имени Москвы, на Шатурской торфяной разработке.

Во время разработки одного из каналов Чирчикстроя при напоре в насадке в 12 *атм* и работе монитора в упор консистенция пульпы была 1 : 15; после рыхления забоя взрывами она повысилась до 1 :3; этим методом выполнено несколько сот тысяч кубометров земляных работ.

На другом участке канала предварительное рыхление взрывами повысило консистенцию пульпы с 1 : 12,8 до 1 : 7,55 и понизило расход энергии с 10,4 до 6,3 *квт·ч*. Опыт показывает, что рыхление взрывами вполне оправдывается в технико-экономическом отношении.

Рыхление водой, нагнетаемой под небольшим напором в скважины, расположенные вблизи бровки забоя, предложено Б. И. Карцевым (рис. 138). Вдоль бровки забоя в толщу грунта нагнетают через трубки диаметром 10—19 *мм* воду под давлением 2 *атм*. Трубки опускаются водой, которая размывает по выходе из них грунт, смачивает его и производит на него гидростатическое давление. В результате вдоль забоя образуется постепенно расширяющаяся трещина и грунтовая призма, отделенная от основного массива, опрокидывается или сползает на подошву забоя, причем грунт дробится и разрыхляется.

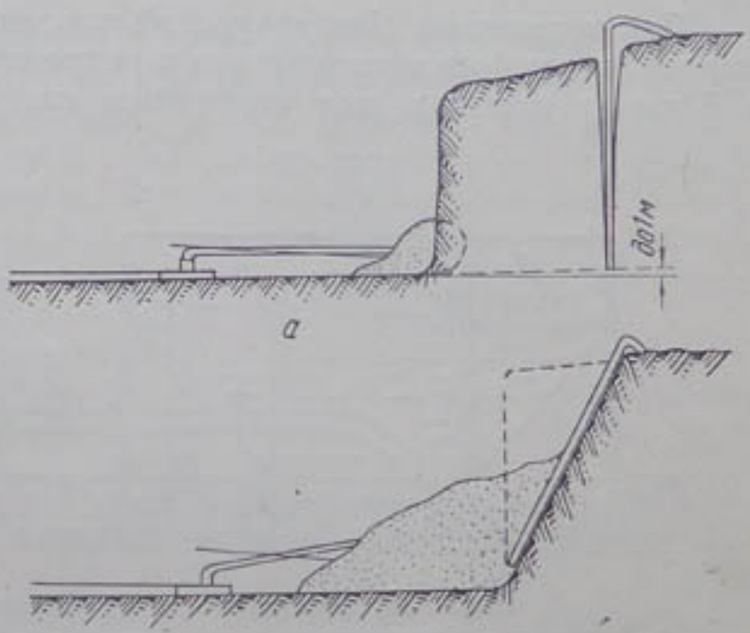


Рис. 138. Обрушение забоев низконапорной водой по откосу:
а—вертикальному; *б*—заданному.

Линия отрыва призм по поверхности забоя превышала в 2—3 раза длину расположения трубок, а по основанию располагалась ниже глубины заложения трубок примерно на 1 *м*. Продвижение оползня вниз изменялось по длине, равной 1—4 высотам забоя; объемы призмы обрушения составляли от 200 до 5000 $м^3$. Этот способ проверен на производстве в крупном масштабе на разработке лессовидных суглинков и глин, а также юрских глин. Результаты работ оказались весьма положительными: консистенция пульпы возросла в 2—3 раза, уменьшились расход энергии и недоборы, стоимость работ снизилась на 40%.

В результате работ выяснилось, что трубки следует располагать от бровки забоя на расстоянии $^1/_3$—$^1/_2$ его высоты, а друг от друга через 3 *м*—при высоте забоя до 7 *м* и через 5 *м*—при высоте забоя больше 7 *м*. Трубки нужно не доводить до подошвы забоя на 1 *м*. Перед началом работы следует создать вертикальный откос. Описанный метод эффективен при высотах забоя не менее 4 *м*.

Для смыва разрыхлившегося при обрушении грунта требуется меньший напор воды, чем при подбое; это снижает стоимость воды, а следовательно, и стоимость размыва. В проницаемых грунтах способ искусственного оползня применения не нашел.

Третий способ рыхления—разработка плотных грунтов экскаватором с укладкой их в отвал у гидромонитора или в бункер. Такой способ применялся, например, в крупном масштабе на работах треста Коркинуголь, причем глина, с трудом разрабатывавшаяся в забое, после рыхления легко смывалась водой гидромонитора под давлением только в 3 *атм*. Еще ранее этот же способ применялся на строительстве канала имени Москвы; предварительное рыхление тяжелых суглинков и глин экскаватором повышало производительность размыва в 6—7 раз.

Высокую эффективность комбинированной работы экскаваторов и гидромониторов показали опытные работы на Батуринском угольном разрезе: производительность экскаватора возросла в два раза, а землесоса—в четыре раза.

При возведении Мингечаурской плотины также была применена комбинированная работа экскаваторов и гидромониторов. Карьер был расположен в 5 *км* от плотины; под покровным слоем суглинков и супесей залегали

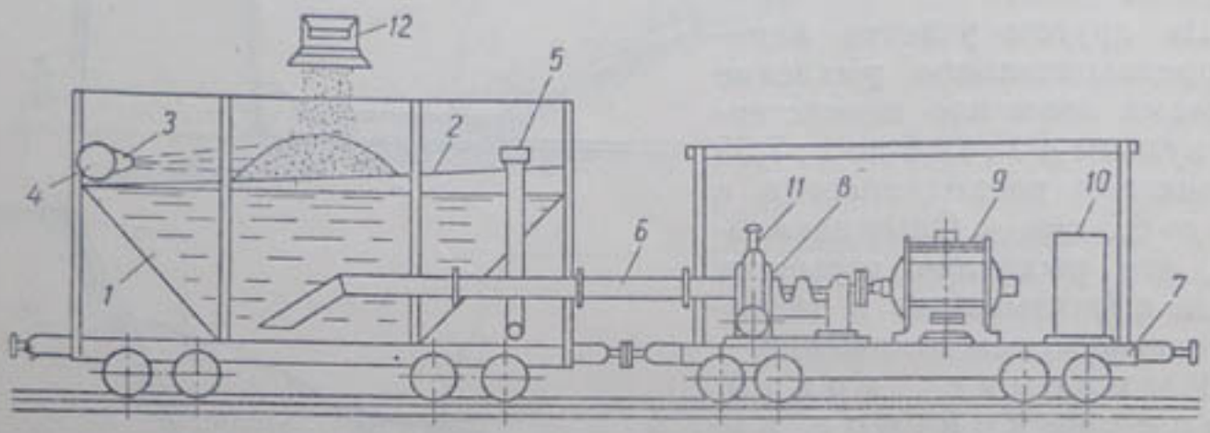


Рис. 139. Передвижная гидротранспортная установка:
1—бункер; *2*—грохот-смеситель; *3*—насадок гидромонитора; *4*—водовод; *5*—аварийный сброс; *6*—всасывающая труба; *7*—вагон; *8*—землесос; *9*—электродвигатель; *10*—пусковое устройство; *11*—эжектор; *12*—ковш экскаватора или сбрасывающий транспортер.

пылеватые мелкозернистые и гравелистые пески, гравий с песчаным заполнением, линзы, глины. После разработки экскаваторами получались четыре сорта смеси с содержанием гравия 15, 35, 50 и 60%. Разработанный экскаваторами грунт доставлялся железнодорожными поездами к приплотинному бункеру-смесителю, размывался в нем гидромониторами и затем перекачивался землесосами в плотину. Консистенция пульпы изменялась от 1 : 6 до 1 : 8.

На рисунке 139 показана комбинированная передвижная экскаваторно-гидромониторная установка на железнодорожном ходу. Грунт разрабатывается экскаватором, разгружается на грохот *2* бункера *1*, с которого смывается гидромонитором *3*. Из бункера пульпа забирается всасывающей трубой *6* землесоса *8* и далее транспортируется напорным пульповодом к месту намыва.

Стоимость транспортировки грунта от экскаваторов автосамосвалами составляет основную часть комплекса экскаваторно-транспортных работ и обходится дороже гидротранспорта; описанная комбинированная работа экскаватора с гидромеханизацией обычно дешевле, чем транспортировка грунта на автомашинах. Кроме этого, отпадает необходимость планировки грунта на плотине и уплотнения его.

При работе в плотных грунтах, плохо поддающихся размыву гидроманипуляторами, такая комбинированная установка будет эффективнее обычной гидромониторной разработки.

Повышение консистенции пульпы при размыве песков может быть достигнуто увеличением расхода воды в мониторе, так как замечено, что при размыве несвязных грунтов интенсивность размыва возрастает быстрее, чем расход. Поэтому некоторые специалисты считают, что в таких грунтах работа монитором с расходом меньше 100 *л/сек* вообще нерациональна.

Существенное влияние на консистенцию пульпы при размыве имеет высота забоя, так как при увеличении ее относительный расход воды на обрушение уменьшается.

Сползание несвязаных грунтов (песков и супесей), для которых способ В. И. Карцева не нашел себе применения, могло бы быть осуществлено применением предварительного затопления размываемых площадей с пробуриванием на них ряда скважин небольшого диаметра. Это мероприятие должно быть особенно эффективно в лессовых грунтах, имеющих большую порозность и обладающих значительным сцеплением в сухом состоянии благодаря цементации пор известью. В результате обильного увлажнения происходит растворение извести, резкое уменьшение коэффициента внутреннего трения и сползание забоя. Так как коэффициент фильтрации лессовых грунтов в вертикальном направлении значительно больше, чем в горизонтальном, то предлагаемое мероприятие должно дать быстрый эффект.

Предварительное обрушение забоя одним из указанных выше способов способствует лучшему разрыхлению грунта, облегчает его размываемость и повышает, вследствие этого, консистенцию пульпы. Возникает возможность поставить гидромонитор вблизи уже обрушившегося забоя, что ведет к резкому повышению консистенции пульпы. При таком способе работ ликвидируется этап подбоя, требующий во много раз больше воды, чем этап размыва обрушившегося грунта.

По данным Гипрооргстроя, при размыве плотных грунтов на подбой затрачивается 66% времени, на смыв 20,7% и на простои 13,3%; расход электроэнергии на подбой примерно втрое больше, чем на смыв, хотя объем подбоя в несколько раз меньше объема смыва.

Приведенные данные показывают необходимость предварительного рыхления плотных грунтов тем или иным из указанных способов.

Следует подчеркнуть, что приближение гидромонитора к забою не только повышает качество переработки грунта в забое, но и дает возможность применять гидротранспорт пульпы высоких консистенций в напорных пульповодах.

Практика разработки лессовидного суглинка с отдельными участками довольно тяжелой сланцеватой черной глины показала, например, возможность транспортировать пульпу густой консистенции 1 : 3 при хорошо размельченном гидромониторами грунте и, с другой стороны, забивку пульповодов при консистенции 1 : 7 и 1 : 8 комками сланцеватой глины, создававшими пробки на отдельных участках пульповода.

Опыты, проведенные Н. Д. Авериным (ВНИОМС) и Г. А. Тер-Степановым, показывают значительное повышение консистенции пульпы при уменьшении расстояния гидромонитора от забоя (табл. 17).

Таблица 17

Удаление насадка от забоя в м	Расход воды в м³ на 1 м³ грунта при напоре у насадка	
	40 м	60 м
1	1,18	—
2	3,85	2,5
4	5,86	5,04
8	8,75	8,05

С увеличением диаметра насадков консистенция пульпы при прочих равных условиях увеличивается.

Так как опыты производились со связными грунтами (глинами), то приближение гидромонитора к забою и увеличение диаметра должны дать больший эффект при разработке несвязных грунтов.

Это также указывает на практическую возможность получения консистенции пульпы 1 : 2—1 : 5.

Размыв сверху вниз показан на рисунке 135, *б*. Так как угол между струей и размываемым грунтом значительно меньше, чем при размыве снизу, то и консистенция пульпы меньше. Размыв сверху может производиться и иным способом. Сначала монитором открывают траншею, затем в верхней части ее делают заглубление, в которое и ставят монитор. Обычно применяется размыв снизу с подбоем.

Для рационализации и удешевления размыва весьма важно повысить коэффициент полезного использования энергии вытекающей из насадка монитора струи для размыва грунта в забое.

Размыв грунта гидромониторами и гидротранспорт его землесосами применялся при постройке плотин Верхне-Свирьской, Боксуйской, частично Новосибирской, Кайрак-Кумской и других.

Мероприятия по повышению производительности гидромонитора по грунту. Производительность гидромонитора по грунту (консистенция пульпы) зависит от ряда факторов. К ним относятся: а) характер размываемого грунта, работа с предварительным рыхлением или без него; б) расстояние гидромонитора от забоя; в) качество струи и ее мощность (расход, напор, компактность); г) высота забоя; д) организация работ и, в частности, организация передвижек, определяющая использование гидромонитора во времени (в течение смены) $K_{вр}$.

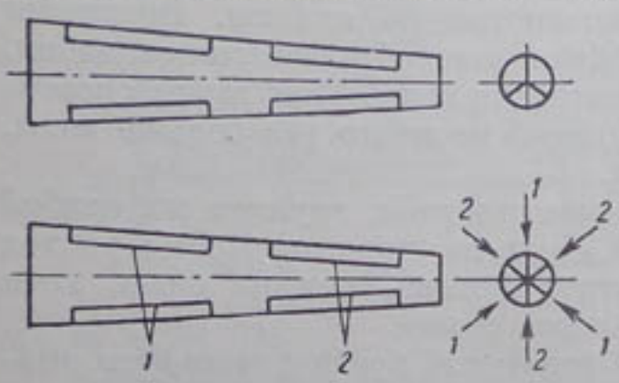


Рис. 140. Рациональное расположение ребер в стволе гидромонитора.

Вопросы, относящиеся к пунктам а, б, д, нами уже рассмотрены выше.

Что касается высоты забоя, то консистенция пульпы должна повышаться с увеличением высоты забоя, так как объем подбоя остается неизменным.

Принято считать, что основным показателем интенсивности воздействия вылетающей из насадка струи на грунт является удельное давление, производимое струей на стенку забоя.

Компактность струи оказывает очень большое влияние на эффективность разрушения и размыва грунта. Существенное влияние на компактность струи оказывает расположение в стволе гидромонитора направляющих ребер-успокоителей, задача которых состоит в уменьшении вихревого состояния струи как вследствие ее вращения после поворотов, так и по причине ее турбулентности.

По данным Г. А. Тер-Степанова, наилучшее качество струи получается при устройстве внутренних ребер, показанном на рисунке 140.

Для повышения компактности струи ось насадка и ось ствола должны находиться на одной прямой, а внутренняя поверхность насадок должна быть тщательно отшлифована.

Исследования ВНИОМС[1] показали, что увеличение диаметра насадка позволяет уменьшить напор воды перед насадком без уменьшения удельного давления струи в забое. Например, при диаметре насадка 60 *мм* и напоре перед ним 67 и 100 *м* напор в забое на расстоянии в 13 *м* от насадка был 5,6 и 9,7 *м*, что соответствует коэффициенту полезного использования энергии 8,3 и 8,6%. При увеличении диаметра насадка в первом случае до 120 *мм*, а во втором до 160 и уменьшении напора перед ним соответственно до 29 и 34 *м*, коэффициент полезного использования струи в забое повысился до 23 и 33%, а напоры струи в забое поднялись до 6,7 и 11,2 *м*. Опыты при другом расстоянии забоя от насадка подтвердили указанные соотношения.

[1] Г. Н. Роер. Новые методы гидромеханизации. «Строительная промышленность» № 3, 1950.

На основании этих опытов Г. Н. Роер предлагает применять возможно бо́льшие диаметры насадков с уменьшением напора перед насадком гидромонитора. По его вычислениям, это уменьшает удельный расход энергии на размыве в 2—3 раза и повышает выработку на одного рабочего в $2^1/_2$ раза. Кроме того, уменьшение начального напора снижает стоимость воды, подаваемой под напором к гидромонитору; поэтому выбору насадка монитора и давлению перед ним следует уделять серьезное внимание и перед началом производственного размыва ставить соответствующие опыты.

Необходимо, однако, учитывать, что при увеличении диаметра насадка гидромонитора увеличивается и его расход примерно пропорционально квадрату отношения диаметров, а уменьшение напора снижает расход пропорционально корню квадратному из отношения напоров. В итоге увеличение диаметра гидромонитора при одновременном уменьшении напоров резко увеличивает расход, что связано с увеличением мощности насоса.

Зачистка оснований котлованов гидромониторами. Котлованы после их разработки экскаваторами или гидромеханизацией обычно зачищают бульдозерами или скреперами с дальнейшей погрузкой собранного грунта экскаваторами в автомашины.

Разработка котлованов Каховской ГЭС, главным образом в песках, выполнялась землесосами, а зачистка оставленного защитного слоя — бульдозерами и экскаваторами. Однако часть зачистных работ (87 тыс. $м^3$ из общего объема зачисток в 837 тыс. $м^3$) производилась гидромониторами.

Сравнительно небольшой объем гидромониторных зачисток объясняется тем, что строители опасались переувлажнения грунта котлованов. В действительности зачищенное гидромониторами основание ничем не отличалось от выполненного экскаваторами и бульдозерами. Вместе с тем оказалось, что зачистка гидромониторами менее трудоемка, обходится в $2^1/_2$—3 раза дешевле и заслуживает более широкого применения[1].

§ 7. ПОДВОДНАЯ РАЗРАБОТКА ГРУНТА

При подводной разработке всасывающая труба землесоса со всасом на конце опускается под воду на грунт и последний под влиянием вакуума во всасывающей трубе и за счет скоростей всасываемой воды поступает в нее и далее в землесос. Однако консистенция пульпы, даже в несвязных грунтах, получается незначительной. Для ее повышения применяют предварительное рыхление перед всасом. Подводное гидравлическое рыхление, ранее применявшееся, не оправдало себя, так как консистенция пульпы получалась слабой. Механическое рыхление осуществляется фрезой с ножами, внутрь которой вводится конец всаса.

Землесосная плавучая установка с подводной разработкой грунта (рис. 141) состоит из корпуса (понтона), на котором расположены рабочее, вспомогательное, силовое оборудование и надпалубная надстройка. Рабочее оборудование состоит из землесоса *8*, приводимого во вращение от двигателя *11*. На конце всасывающей трубы *2* помещен наконечник всаса и фрезерный вращающийся разрыхлитель (рис. 142), смонтированные на стреле *1* (рис. 141).

Всасывающую трубу *2* (рис. 141) с помощью стрелы *1* ставят под разными углами наклона к горизонту—до 45° и более.

Подвижная часть всасывающего трубопровода *2* соединяется с неподвижной всасывающей трубой *6*, лежащей на корпусе снаряда.

Напорный трубопровод *12* (рис. 141) проходит вдоль корпуса и соединяется затем с плавучим пульповодом из отдельных секций длиной 4—7 *м*, соединенных между собой гибкими связями.

---

[1] А. П. Бечин. Механизация работ при выемке котлованов и намыве перемычек на Каховском гидроузле. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 4, 1955.

Лебедка *15* обслуживает свайный аппарат *17*. Последний состоит из двух свай *7*, укрепленных на корме корпуса и блочного устройства. При

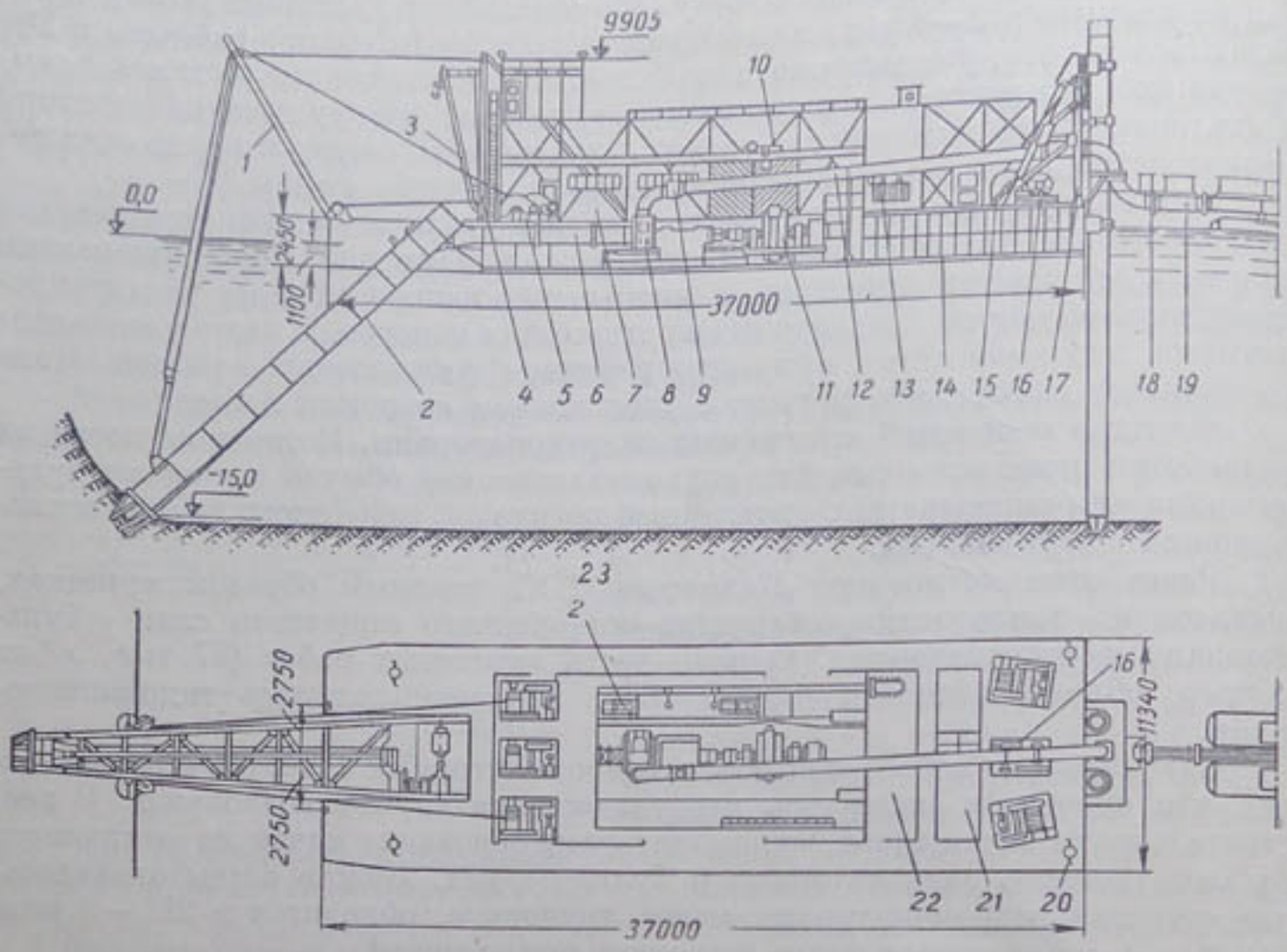


Рис. 141. Плавучий землесосный снаряд 500-60:

1—стрела; *2*—всасывающая труба; *3*—кран-укосина; *4*—портал; *5*—лебедка подъема трубы; *6*—всасывающий трубопровод; *7*—надстройка деревянная; *8*—землесос; *9*—обратный клапан; *10*—кран-балка; *11*—электродвигатель землесоса; *12*—напорный трубопровод; *13*—трансформатор; *14*—корпус металлический; *15*—лебедка свайного аппарата; *16*—становая лебедка; *17*—свайный аппарат; *18*—шаровое соединение; *19*—фланцевый патрубок с мостиком; *20*—ручной шпиль; *21*—помещение команды; *22*—мастерская; *23*—вспомогательный насос.

работе одна свая спущена в грунт, а другая поднята. Снаряд совершает ход папильонажа поперек прорези, вращаясь около опущенной сваи; при обратном ходе первая свая поднимается и вращение снаряда производится вокруг второй опущенной в грунт сваи.

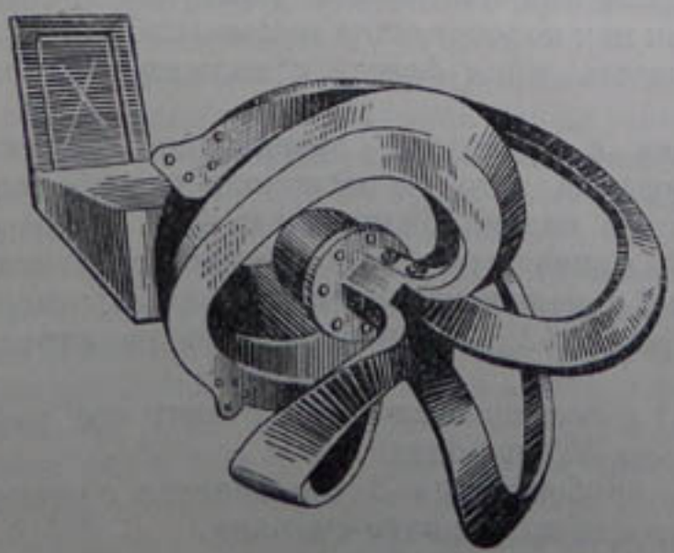


Рис. 142. Фрезерный разрыхлитель.

Сам ход папильонажа совершается посредством выбора и отпускания боковых канатов, закрепленных на якорях.

Разработка грунта плавучими земснарядами и напорный гидротранспорт пульпы к месту укладки—это наиболее распространенный способ производства гидромеханизированных работ.

При подводной разработке грунта землесосом ЗГМ-1 с фрезерным рыхлением было обнаружено, что рыхлитель нарезает грунта больше того количества, которое успевает забирать всас. Для повышения забора грунта землесосом, по предложению И. М. Левченко, были увеличены размеры всасывающего патрубка и, следовательно, умень-

шены скорости в нем с 2,8 до 1,7 *м/сек*, а патрубок всаса был углублен внутрь фрезы примерно на треть высоты.

В результате этих мероприятий консистенция пульпы повысилась с 1 : 13 до 1 : 8, а снаряд начал давать грунта 72 000 $м^3$ в месяц, что является очень высокой выработкой для землесоса ЗГМ-1[1].

Это указывает на необходимость регулирования в начале работ положения всаса внутри фрезы, а также выяснения наиболее рациональных размеров и формы всасывающего патрубка.

§ 8. ТРАНСПОРТ ПУЛЬПЫ ОТ ЗАБОЯ К ПРИЕМНОМУ КОЛОДЦУ ЗЕМЛЕСОСА

Пульпа при движении от места размыва к приемному колодцу землесоса должна пройти расстояние в несколько десятков метров, а при запаздывании в передвижке землесосов—значительно больше. Если не предпринимать специальных мер по регулированию движения пульпы, то она, стекая по поверхности карьера, разбивается на отдельные гидравлически маломощные ручейки, обладающие малой взвешивающей способностью. Вследствие этого часть пульпы осаживается в пути, и в приемный колодец попадает пульпа значительно меньшей консистенции, чем на размыве.

Осевшую в пути пульпу проталкивают дополнительными мониторами, вследствие чего консистенция пульпы, попадающей в приемный колодец, резко снижается. Нередки случаи, когда, кроме мониторов на размыве, в забое ставится еще специальный дополнительный монитор для проталкивания пульпы. В некоторых случаях производят многократное проталкивание, сопровождающееся существенным снижением консистенции пульпы в приемном колодце и увеличением затраты энергии на размыв.

Такой способ транспортировки пульпы от забоя к приемному колодцу можно назвать нерегулируемым транспортом. К сожалению, он еще применяется на стройках.

Кроме снижения консистенции пульпы и повышения расхода энергии, нерегулируемый транспорт вызывает и другие отрицательные последствия: неравномерность консистенции пульпы во времени и крутые продольные уклоны дна забоя—0,03—0,10. Последние же являются причиной быстрого уменьшения высоты забоя и недомыва карьера, а следовательно, уменьшения его объема. Все это приводит к удорожанию размыва. Поэтому подобный способ производства работ нерационален.

Транспортировать пульпу от забоя к приемному колодцу рекомендуется по способу регулируемого транспорта (рис. 143) для сохранения в приемном колодце консистенции пульпы, полученной при размыве. Образовавшаяся при размыве пульпа направляется легкими переносными щитками *5*, ограждающими район размыва, к лотку *4*, составляемому из отдельных звеньев; по лотку пульпа сплошным потоком течет к колодцу. Уклон лотка и его размеры подбираются по расходу гидромониторов так, чтобы пульпа протекала без выпадения осадка. Для этого требуется уклон $i=0{,}015 \div 0{,}025$, а по опыту работ на Чирчикстрое $0{,}010 \div 0{,}014$.

Для большей равномерности консистенции пульпы желательно ограждать щитками 2—3 одновременно разрабатываемых забоя; работы при этом следует вести так, чтобы в одном забое производился подбой, а в соседнем—смыв обрушенного грунта. При одновременной работе мониторов в 2—3 забоях увеличивается расход пульпы в лотке, уклон которого в этом случае можно уменьшить.

Перед входом в лоток устраивается направляющая площадка из досок. В карьерах со включениями камней в лотке перед приемным колодцем устраивается перепад, над лотком устанавливается редкая решетка; пульпа

---

[1] А. Д. Лобза. Из опыта эксплуатации гидроустановок. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 4, 1949.

пройдет через решетку, а камни будут скатываться по решетке на поперечный транспортер.

Установка щитков и наращивание лотков—нетрудоемкая работа, и небольшое увеличение расходов на лотки, щитки и их перестановку несоизмеримо с огромной экономией благодаря увеличению в приемном колодце консистенции пульпы и уменьшению недоработок забоя.

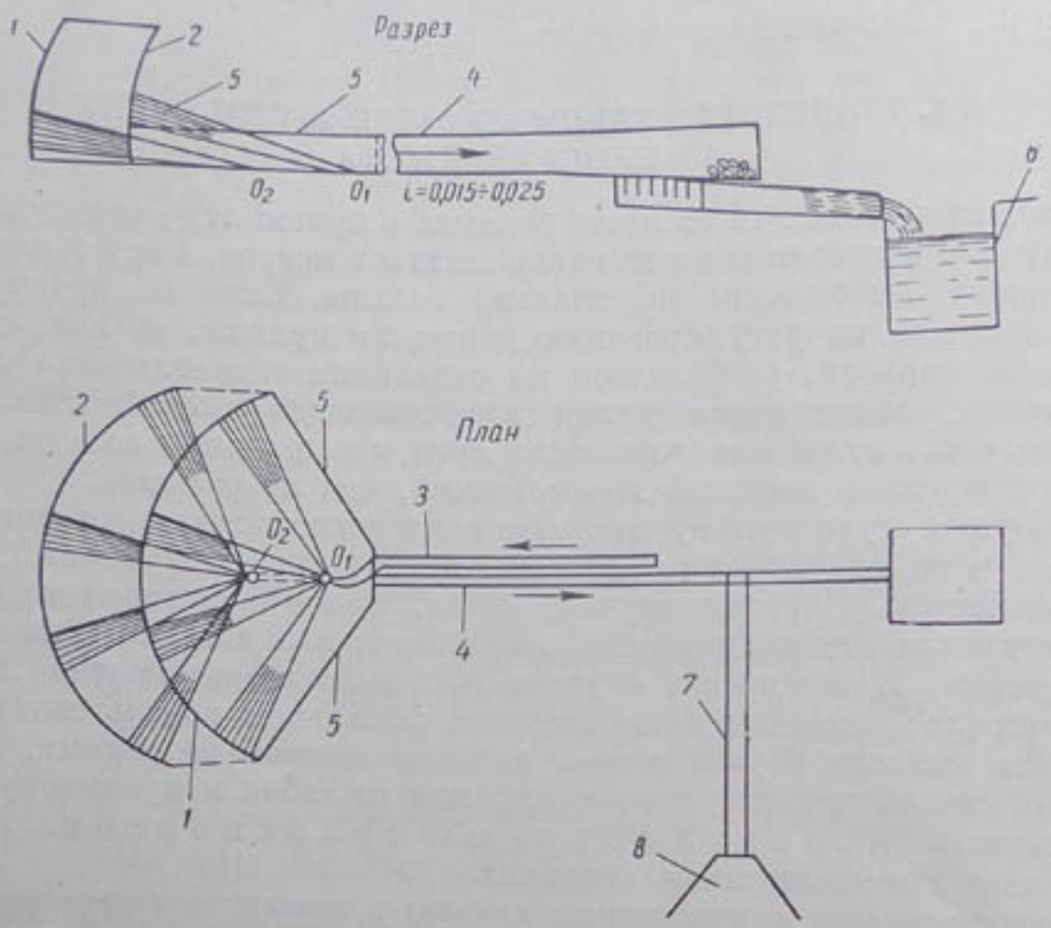


Рис. 143. Регулируемый транспорт пульпы от забоя к приемному колодцу с помощью передвижных лотков и переносных щитков:
1 и *2*—границы первого и второго забоев; *3*—водопровод к гидромонитору; *4*—передвижной звеньевой лоток; *5*—переносные щитки; *6*—приемный колодец землесоса; *7*—транспортер для камня; *8*—склад камня; O_1 и O_2—первая и вторая стоянки гидромониторов.

§ 9. ЗЕМЛЕСОСЫ

Землесосами называются насосы для всасывания и нагнетания пульпы (рис. 144). Наибольшее распространение имеют центробежные землесосы. Они состоят из следующих основных частей: рабочего колеса *2*, корпуса *1*, всасывающего *4* и нагнетательного патрубков *5*, вала *3*, подшипников, сальников, рамы, привода, пусковой и измерительной аппаратуры.

Наиболее быстро изнашиваются корпус, рабочее колесо и рубашка вала землесоса. Поэтому такие части изготовляют из легированной стали, покрывают защитными оболочками или наплавляют твердыми сплавами.

Рабочее колесо землесоса имеет 3—4 лопасти, т. е. меньше, чем колесо центробежного насоса; кроме того, землесосы отличаются от центробежных насосов наличием бронедисков, уплотнительных и установочных колец.

Промышленность выпускает землесосы следующих марок (*Q*—производительность по пульпе в $м^3/час$; *H*—наибольший напор в *м*):

	Q	H		Q	H
6Н3	400	27	12Р-7	1 600	45
8Н3	800	25	20Р-11	3 600	50
3ГМ-1	1 200	43	500-60	6 500	67
3ГМ-2	1 400	43	1000-80	12 000	80
10Р-7	1 200	42			

Подробные сведения об этих снарядах даются в справочниках[1].

Для очистки небольших каналов, прудов и водоемов изготовляются землесосы 4НЗ и 5НЗ с часовой производительностью по грунту 20—30 $м^3$.

К достоинствам землесосов последних выпусков — 300-40, 500-60 и 1000-80 — относятся их большая производительность и высокие напоры, что увеличивает дальность транспортировки грунта без перекачек; эти снаряды получили очень широкое распространение.

Наши конструкторы и строители должны шире использовать передовой зарубежный опыт. Так, у американских землесосов[2] к. п. д. на 8—10% выше, чем у наших, а коэффициент использования во времени примерно на 30% больше. Современный землесосный снаряд «Хайдро-Квебек» разраба-

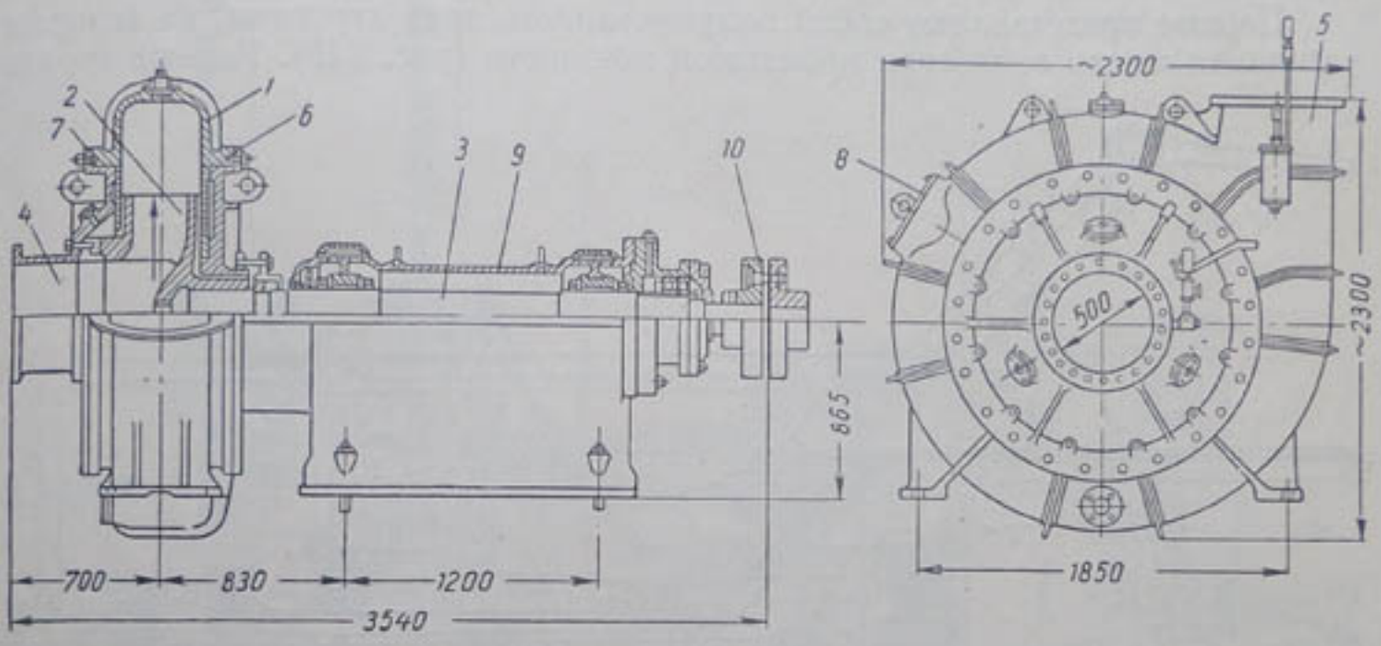


Рис. 144. Землесос 20Р-11:

1—корпус; *2*—рабочее колесо; *3*—вал; *4*—всасывающий патрубок; *5*—напорный патрубок; *6*—крышка напорной стороны; *7*—крышка всасывающей стороны; *8*—крышка люка; *9*—консольная опора; *10*—соединительная муфта.

тывает моренные глины с большим количеством камней, тогда как наши отечественные плавучие землесосы могут эффективно работать только в несвязных грунтах. Он может пропускать камни размером до 40 *см*, что в ряде случаев позволяет перекрывать русло гравелисто-песчаной смесью без устройства банкета, как это было на перекрытии р. Миссури в США.

Последовательное включение землесосов, перекачки. При недостаточности напора, развиваемого землесосом, приходится либо сдваивать землесосы последовательно, либо устраивать перекачивающие станции. Первому решению присущи недостатки: основная часть напора преодолевается вторым землесосом, и совместная работа двух землесосов нередко становится неустойчивой. Лучшее решение получается с устройством перекачивающей станции.

Важное значение имеет правильный выбор мест расположения перекачивающей станции. Ее нужно располагать так, чтобы как основные, так и перекачивающие землесосы преодолевали примерно одинаковый напор и давали, следовательно, одинаковую производительность.

Наличие перекачивающей станции удорожает стоимость гидромеханизированных работ до 35—40%.

На строительстве Каховской гидроэлектростанции при намыве пазух водосливной плотины оказалось более выгодным устройство вместо пере-

---

[1] Справочник строительного оборудования для гидроэнергетического строительства. Госэнергоиздат, М.—Л., 1954.

[2] В. Я. Богданов, А. Н. Климентов, Ф. Н. Чеботарев. Совершенствовать оборудование и технологию гидромеханизации. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 10, 1955.

качивающей станции промежуточного подводного кавальера. Хотя работа перекачивающей станции обходится значительно дешевле работы основного землесосного снаряда, однако вариант с промежуточным кавальером оказался примерно равноценным варианту с перекачивающей станцией вследствие более высокой производительности; кроме того, улучшилось качество намываемого грунта.

§ 10. ЗЕМЛЕСОСНЫЕ УСТАНОВКИ

Применяются два типа землесосных установок: плашкоутные гидромониторно-землесосные и плавучие землесосные снаряды.

Первые представляют собой полукустарного типа агрегаты, на которых устанавливаются землесосы небольшой мощности (рис. 145). Размыв грунта

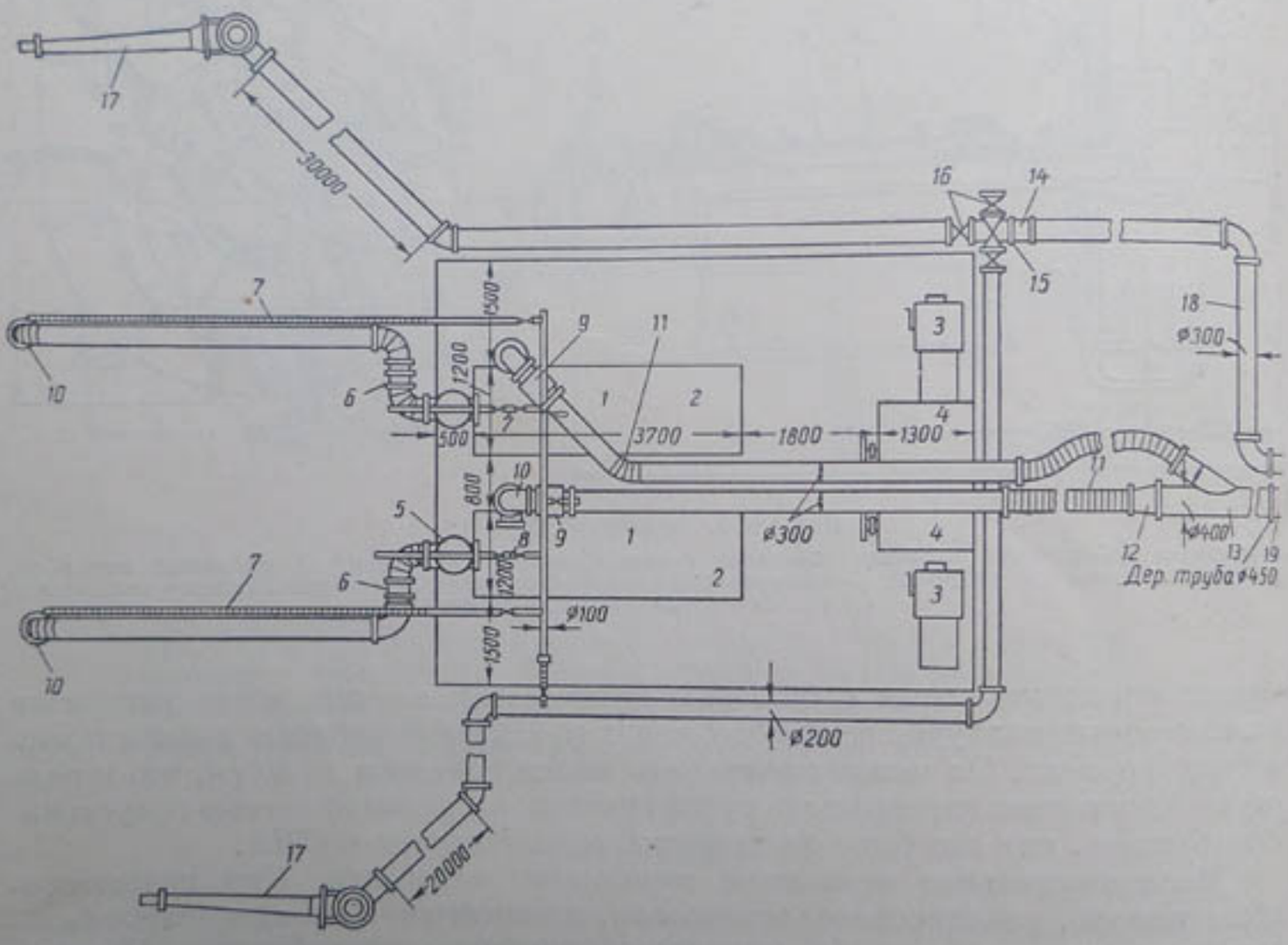


Рис. 145. Расположение основного оборудования гидромониторно-землесосной установки:
1—землесос; *2*—электродвигатель; *3*—реостат; *4*—пусковой ящик ЯЖ; *5*—смотровой люк; *6*—сальниковый шарнир; *7*—подмывное устройство; *8*—эжектор; *9*—обратный клапан; *10*—всас землесоса; *11*—гибкий шланг; *12*—переход; *13*—косой тройник; *14*—переходный патрубок; *15*—крестовина; *16*—задвижка *17*—гидромонитор; *18*—напорный водопровод к гидромониторам; *19*—пульповод.

производится гидромониторами *17*, а землесосы *1* обеспечивают напорное движение пульпы, засасываемой ими из приемного колодца установки (зумпфа).

Плавучие землесосные снаряды (рис. 146) являются индустриальными установками, оборудованными землесосами любой мощности. Здесь нет насосных установок для подачи воды к гидромонитору, что значительно снижает установленную мощность агрегатов и удельный расход энергии.

По данным Г. П. Никонова и С. О. Славутского (при разработке грунтов второй категории и удельном расходе воды 7 $м^3$—для гидромониторов и 10 $м^3$—для плавучих землесосных снарядов), удельный расход электро-

энергии для гидромониторных работ при землесосе ЗГМ-2 составляет 4,2 *квт·ч/м*³, а для плавучих землесосов 2,5 *квт·ч/м*³.

Сокращение мощности землесосных установок является их серьезным преимуществом, так как в гидромониторно-землесосных установках мощность двигателей насосов, подающих воду к гидромониторам, часто превышает мощность двигателей землесосов.

К недостаткам плавучих землесосных установок относится малая эффективность или даже невозможность подводной разработки тяжелых связных грунтов и более слабая консистенция пульпы вследствие трудности управления операцией по созданию гидросмеси.

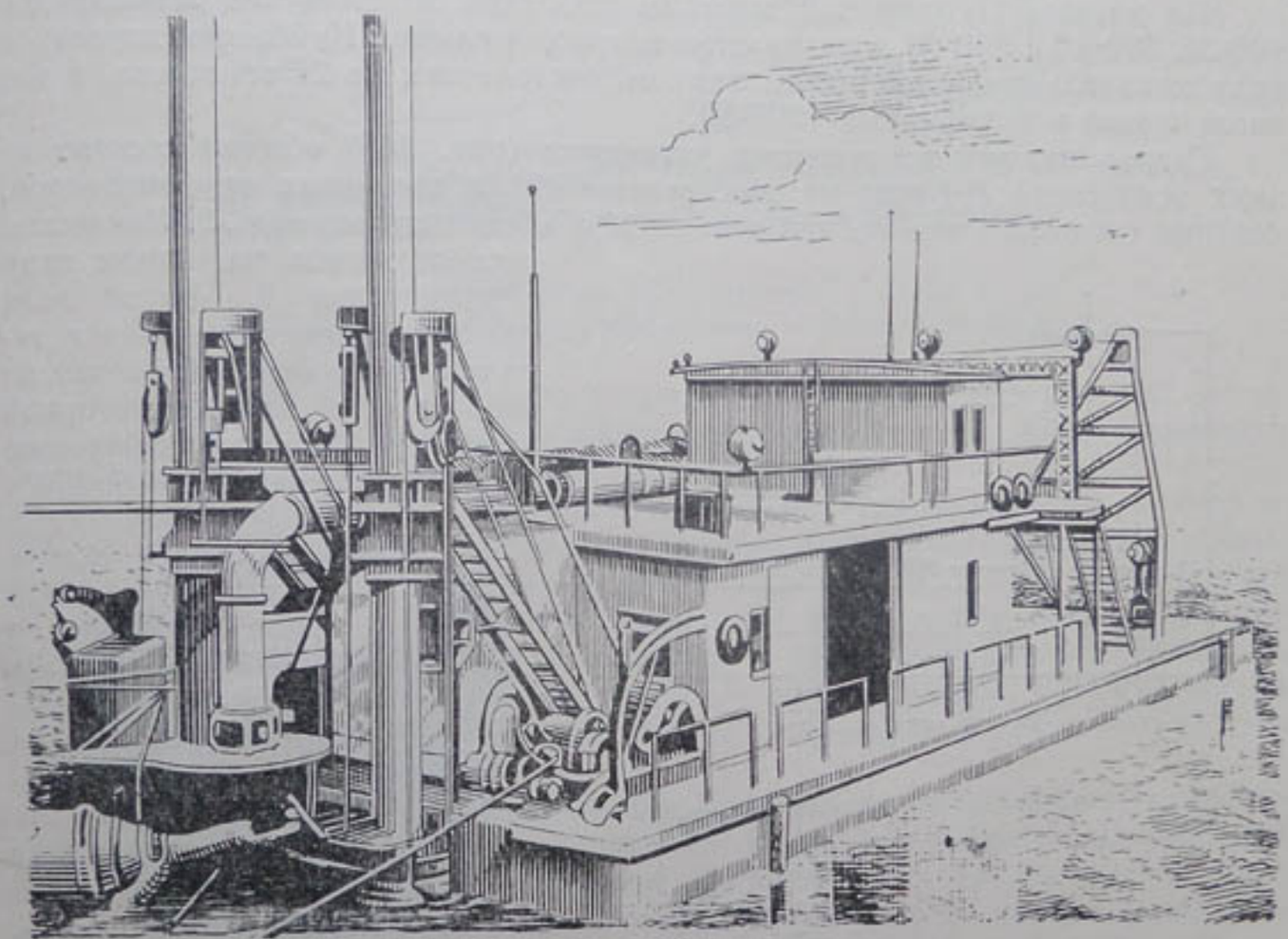


Рис. 146. Плавучий землесосный снаряд 300-40. Вид со стороны свайного хода.

В первый период развития гидромеханизации у нас применялись в основном гидромониторно-землесосные установки, а в настоящее время основная часть гидромеханизированных работ выполняется плавучими землесосными снарядами. Однако работа гидромониторно-землесосных установок имеет и свои достоинства. При помощи их можно разрабатывать тяжелые грунты и добиваться более высокой консистенции, чем у плавучих землесосных снарядов. Так, на одной из крупных строек[1] при разработке мелких песков и супесей, переходивших в суглинки, были поставлены два плавучих землесосных снаряда ЗГМ-1 с разрыхлителями и три гидромониторных агрегата также с землесосами. Средняя производительность землесосных снарядов за 8 месяцев была 98 *м*³/*час* при средней консистенции 1 : 11, а гидромониторных—233 *м*³/*час* при средней консистенции 1 : 4. Гидромониторные снаряды работали значительно эффективнее землесосных, хотя дальность транспортировки пульпы (1,5—2,5 *км*) была большей, чем у землесосных агрегатов. Плашкоутные установки периодически перемещались и устанавливались на минимальное расстояние от груди забоя,

[1] А. Д. Лабза. Эффективность различных способов механизации строительных земляных работ. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 5, 1951.

равно как и гидромониторы, которые для облегчения перемещения были установлены на полых катучих цилиндрах из листового железа. Имевшийся дерн предварительно разрезался на куски, свободно проходившие через землесос. Стоимость 1 $м^3$ грунта, намытого плашкоутными установками, оказалась на 32% ниже стоимости 1 $м^3$, намытого плавучими землесосными снарядами.

На крупных гидростройках, где основная часть грунта добывается из-под воды, в основном нашли применение плавучие земснаряды; при менее крупных работах и надводной разработке грунта могут успешно применяться гидромониторные плашкоутные установки.

На намыве Цимлянской плотины работало 29 плавучих земснарядов 100-35, 300-40 и 500-60, а на намыве гидросооружений Куйбышевгидростроя гидромеханизация располагала парком, состоявшим из 21 землесоса, в том числе семью земснарядами 1000-80.

Гидромониторно-землесосные установки (рис. 145) обычно состоят из двух землесосов *1* (один из них резервный) и напорных трубопроводов, которые сведены через гибкий шланг *11* в общий пульповод *19*. Землесосы располагаются на одном валу с двигателем *2*. Чистая вода для промывки сальников и зарядки землесоса забирается из водопровода для мониторной линии *18*. Зарядку землесосов производят эжектором *8*.

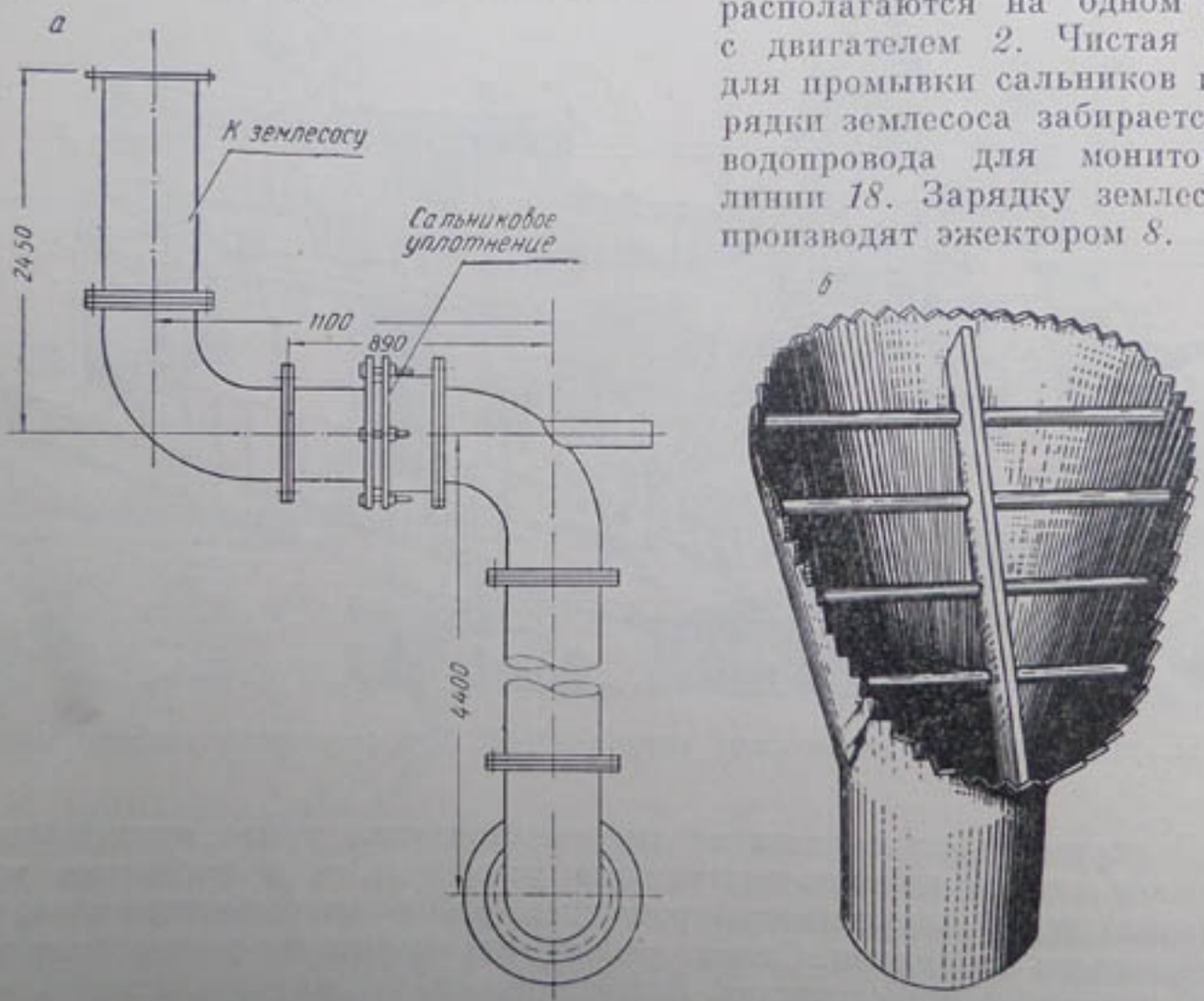


Рис. 147. Детали всасывающей трубы:
а—сальниковый шарнир; *б*—всас.

Всасывающая труба соединяется с землесосом сальниковым шарниром *6*. Он состоит из двух колен, одно из которых соединено с землесосом, а другое—с всасывающей трубой (рис. 147, *а*). Это позволяет поворачивать одно колено относительно другого вокруг оси, что сопровождается подъемом или опусканием всасывающего пульповода. Для заглубления приемного колодца, облегчения засасывания и предотвращения замыва всаса рядом со всасывающей трубой прокладывают специальную подмывную трубку *7* (рис. 145), конец которой расположен на 0,10—0,20 *м* ниже всаса. За напорным патрубком землесоса ставят обратный клапан *9*. За всасывающим патрубком устраивают люк *5* с крышкой для очистки корпуса землесоса и рабочего колеса от камней. Всас устраивают в виде воронки (рис. 147, *б*).

Уровень гидромассы в приемном колодце во избежание засасывания воздуха должен быть на 0,60—0,75 *м* выше всасывающего отверстия. Полезный объем колодца должен быть достаточным для обеспечения работы землесосной установки в течение 2,5—3 *мин* в случае временного перерыва поступления гидромассы в колодец.

Установка неподвижных редких решеток на всасе, ранее широко применявшихся, не оправдала себя, так как значительная часть решеток очень быстро оказывается забитой; совершенно неприменимы решетки в грунтах, содержащих остатки корневой системы.

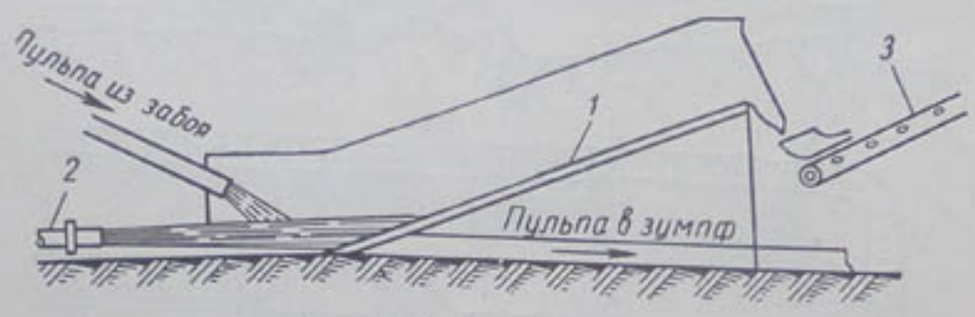


Рис. 148. Гидровашгерд:
1—наклонная решетка; *2*—гидромонитор; *3*—лента транспортера.

При наличии в забое корней и других включений, угрожающих землесосу засорением, рекомендуется предварительная очистка забоя корчевателями-собирателями, бульдозерами и кусторезами.

Хорошо задерживает крупные включения гидровашгерд, устанавливаемый перед приемным колодцем. Гидровашгерд состоит из наклонных решеток, очищаемых струей небольшого гидромонитора (рис. 148). Пульпа из забоя поступает на наклонную решетку *1*; мелкие фракции грунта проваливаются через решетку и поступают в приемный колодец землесоса, а более крупные включения, могущие засорить землесос, поднимаются по решетке струей гидромонитора *2* и попадают на ленту *3* транспортера, удаляющую их из забоя.

Стационарные и передвижные гидромониторно-землесосные установки. Стационарные установки устраивают на сваях, скрепленных продольными насадками и поперечными схватками. На фундамент устанавливают раму, на которой монтируют землесос и мотор. Фундамент до уровня рамы засыпают землей с плотной утрамбовкой.

Такие установки, применявшиеся ранее на некоторых крупных строительствах, неудачны. Передвижка их занимает много времени, связана с демонтажем оборудования и практически сводится к постройке новой установки. Например, при намыве на Верхней Волге из-за трудности передвижки стационарной установки расстояние от землесосной установки до забоя доходило до 150 *м* вместо полагающихся 50 *м*. Между тем передвигать мониторно-землесосные установки необходимо достаточно часто—через 5—10 дней, так как производительность снаряда резко снижается при увеличении расстояния от забоя до установки. Поэтому значительно рациональнее плавучие мониторно-землесосные установки, все оборудование которых монтируют на понтонах (рис. 149).

Землесосная установка плавает в канале, отделенном от забоя перемычкой. По разработке забоя на достаточную длину монитор размывает продолжение канала и прорезает перемычку, после чего установку передвигают на новое место и устраивают новую перемычку (рис. 150).

Если разработка начинается со стороны реки, то сам снаряд, находящийся на реке на плаву, прорезает для себя канал. Для этого всасывающий пульповод забрасывается в сторону от реки в заранее подготовленный приемный колодец и монитором отрывается канал для прохода установки. После этого монитором размывается оставшаяся между каналом и рекой перемычка, и понтон вводится в канал.

Разработку карьера можно производить также при помощи пионерного котлована, заранее отрываемого экскаватором или иным способом. В котловане устраивают перемычку для отделения установки от забоя, за нее напускается вода и далее работа продолжается тем же порядком. Так как дно забоев, даже при регулируемом транспорте, имеет уклон 0,015—0,025,

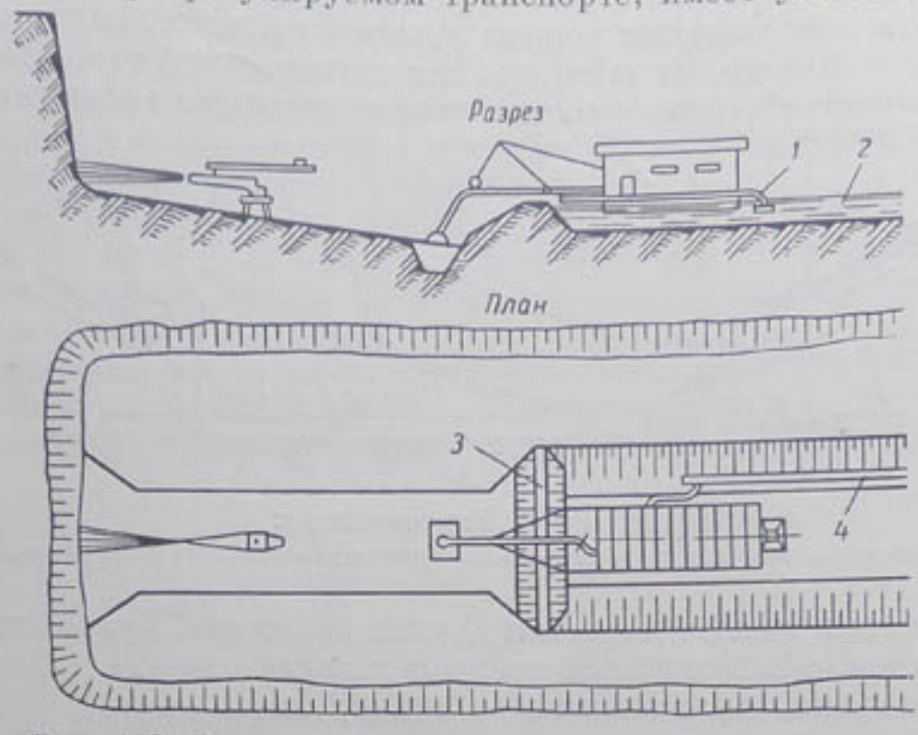


Рис. 149. Плавучая мониторно-землесосная установка:
1—всас насосом чистой воды; *2*—чистая вода; *3*—перемычка; *4*—пульповод.

а при нерегулируемом транспорте уклон дна забоя значительно больше, то для уменьшения недоработок при каждом новом положении установки следует начинать размыв от проектного дна. При этом получается пилообразное дно забоя с минимумом недоработок. Такой способ может быть применен при постройке размывом гидромелиоративных каналов, уклоны которых выражаются в десятитысячных. Уменьшение объема недомыва может быть достигнуто путем уменьшения длины подтекания пульпы до приемного колодца землесоса (рис. 151).

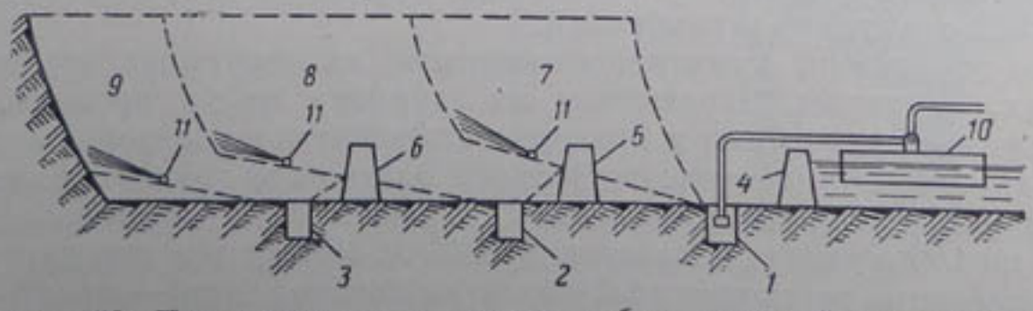


Рис. 150. Последовательные этапы работ плавучей мониторно-землесосной установки:
1, *2* и *3*—последовательные положения приемного колодца землесоса; *4*, *5* и *6*—последовательные положения перемычек; *7*, *8* и *9*—забои в порядке их разработки; *10*—землесосная установка; *11*—последовательные положения гидромониторов.

Передвижка установок, в зависимости от условий подготовки к ней, занимает от 2 суток до 4 часов; в среднем для передвижки при обученной бригаде и правильной организации подготовки требуется около 6 часов. Для улучшения условий стока пульпы к приемному колодцу и повышения консистенции в приемном колодце передвигать землесосные установки следует через 40—45 *м*.

Для уменьшения числа передвижек землесосных установок неоднократно пытались заменять передвижку землесоса передвижкой всаса; однако до последнего времени этот способ полностью не освоен.

Практическая возможность удаления приемного колодца от землесоса была доказана на работах по вскрыше карьера Подольского цементного завода, где, по предложению инж. О. В. Водопьянова, был устроен ряд выносных приемных колодцев, удаленных от землесоса на расстояние до 40—60 *м*. Благодаря этому одна установка с землесосом 8НЗ убирала без передвижек вскрышные породы с площади 1—1,5 *га*. Приемные колодцы ставили в пониженных местах[1].

Для ускорения монтажа всасывающую линию устраивали из тонкостенных труб диаметром 300 *мм*, а на трубопроводе у землесосной станции ставили шаровой шарнир. Перемонтаж всасывающей линии на новый приемный

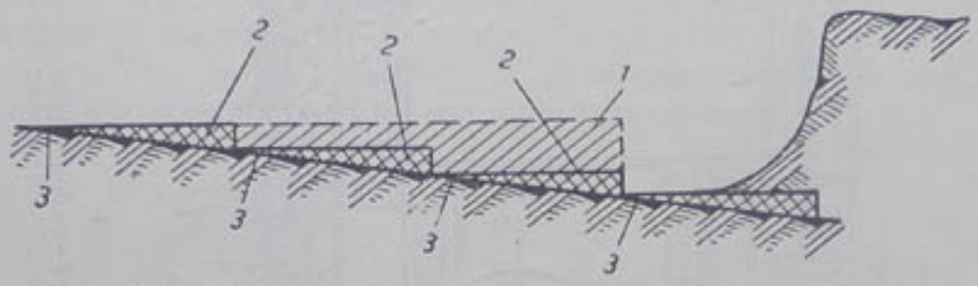


Рис. 151. Недомыв при гидромониторной разработке:
1—недомыв при большом шаге передвижки землесосной установки; *2*—то же, при малом шаге; *3*—места последовательного устройства приемных колодцев.

колодец занимал не более 3 часов. Устройство выносимых зумпфов позволило убрать всю вскрышу без недомывов, что представляет серьезное преимущество указанного способа работ.

В 1953 г. трест Беловуголь в Кузбассе закончил промышленные испытания самопередвигающейся землесосной установки на гусеничном ходу с централизованным управлением С-281[2]. На установке поставлен землесос 12Р-7 производительностью по пульпе 1600 $м^3/час$ при напоре 45 *м* (рис. 152). Длина установки в рабочем положении 14 *м*, ширина 5,4 *м*, вес 40,2 *т*, давление на грунт 0,6 $кг/см^2$.

В период испытаний в суглинках и глинах установка работала удовлетворительно, она передвигалась в забоях даже при наличии глинистых грунтов. Размыв грунта производился гидромониторами. Установка компактна и маневренна. Продолжительность передвижки ее от 5,5 до 9 часов, тогда как на передвижку обычной землесосной установки в соседнем забое требовалось от 45 до 50 часов. На передвижку установки С-281 требовалось 4, а для обычной установки 20,5 человеко-смен.

Плавучие рефулерные установки с рыхлителями. Добыча грунта производится всасыванием разрыхленного грунта из-под воды. Установка монтируется на плавающем понтоне. Землесосное и энергетическое оборудование ее такое же, как и у мониторных землесосных установок. Всасывающая труба, вал для привода разрыхлителя и самый разрыхлитель помещаются на специальной раме (рис. 141), шарнирно соединенной с корпусом. Рама подвешена в двуноге и может подниматься и опускаться лебедками, помещенными в передней части корпуса.

Обычно на этой раме устанавливается и двигатель для вращения вала разрыхлителя. В месте примыкания неподвижного пульповода к вращающемуся устраивается гибкое соединение. В задней части корпуса имеется свайное устройство из двух свай для передвижения снаряда (папильонаж). Процесс папильонажа заключается в повороте снаряда сначала вокруг одной сваи *а*, а затем, после ее подъема лебедкой, вокруг второй сваи *б*. Траектория, описываемая при этом фрезой снаряда, показана на рисунке 153. Недостаток такого

---

[1] А. Д. Лабза. Из опыта эксплуатации гидроустановок. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 4, 1949.

[2] С. С. Духанин. Самопередвигающаяся землесосная установка С-281 на гусеничном ходу. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 4, 1955.

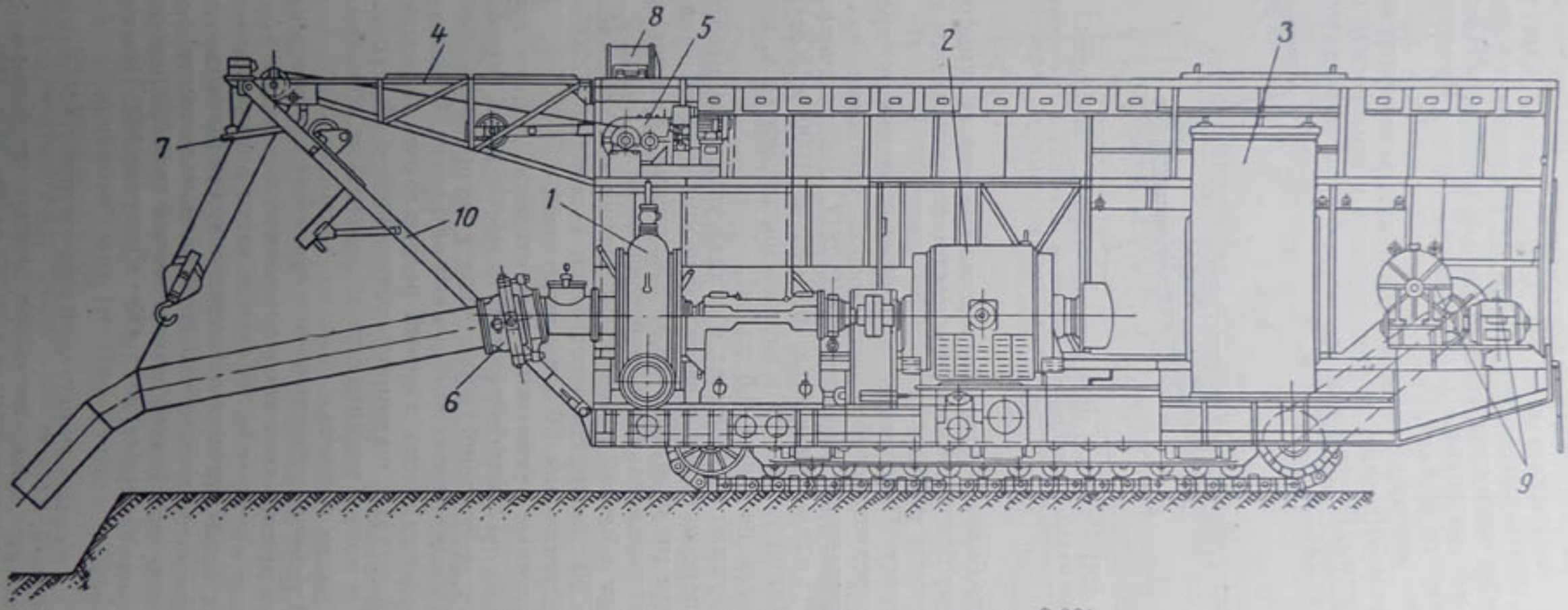


Рис. 152. Самоходная землесосная установка С-281:

1—землесос 12Р-7; *2*—электродвигатель; *3*—распределительное устройство; *4*—стрела универсального крана; *5*—лебедка универсального крана; *6*—шаровой шарнир всаса; *7*—концевой выключатель; *8*—прожектор; *9*—редуктор привода хода с электродвигателем; *10*—укосина.

папильонирования состоит в перекрыше на значительном расстоянии стружки одного хода стружкой следующего и оставлении невыбранных полос грунта. Значительно лучший результат получается при помещении одной из свай в прорези, в которой ее можно передвигать, а второй—в колодце на оси судна. В этом случае сваи $б_1$ и $б_2$ установлены не перпендикулярно оси снаряда, а вдоль ее.

Во время папильонирования кормовая свая $б_1$ неподвижна и вращение земснаряда происходит вокруг нее. После передвижения земснаряда на всю длину дуги забоя опускается свая $б_2$, свая $б_1$ поднимается и весь снаряд подтягивается вперед на длину прорези, т. е. до тех пор, пока свая $б_1$ не пройдет вплотную к свае $б_2$. После этого свая $б_1$ опускается, свая $б_2$ поднимается, и снаряд делает папильонажный ход на всю длину дуги забоя в другую сторону и т. д. При таком свайном ходе величина недоборов и холостых ходов значительно сокращается, но не устраняется.

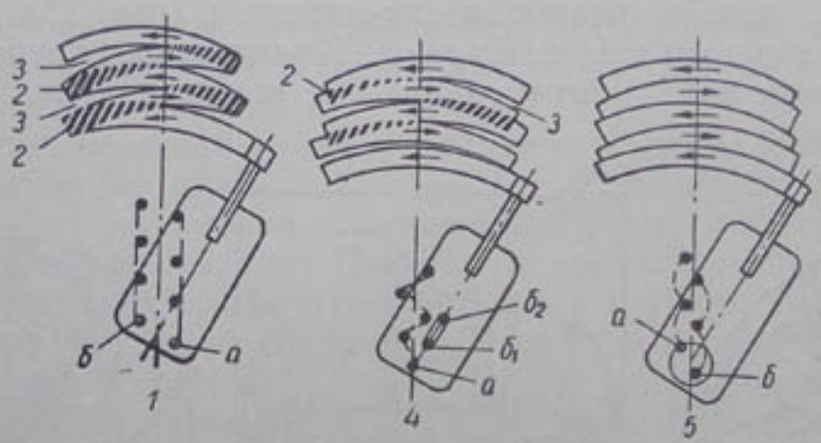


Рис. 153. Траектории папильонирования:
1—свайный аппарат с жестко закрепленными сваями; *2*—холостые проходы; *3*—недоборы грунта; *4*—свайный аппарат со сваями, установленными по оси снаряда; *5*—свайный аппарат с поворотным барабаном; *а*, *б*, $б_1$ и $б_2$—сваи.

Полное отсутствие недоборов и холостых ходов имеет место при работе земснаряда с роторным свайным аппаратом. Он состоит из барабана, в котором расположены направляющие обоймы двух свай. При папильонировании обе сваи опущены и вращение снаряда происходит вокруг вертикальной оси барабана, находящейся на продольной оси понтона. Перед переменой направления папильонирования одна из свай поднимается и передвижение в новый забой осуществляется вращением барабана вокруг сваи, опущенной в грунт. Несмотря на большие преимущества, свайные роторные аппараты ввиду их громоздкости и сложности не получили распространения.

Кроме папильонирования, для передвижения плавучих земснарядов применяется в некоторых случаях траншейный способ разработки, при котором земснаряд движется только вперед. Всас опускается на требуемую глубину и остается неизменно в этом положении. Для передвижения снаряда по траншее выбирается становой (передний) трос, а для удержания снаряда в заданном створе служат боковые якоря. Длина траншеи, разрабатываемой без передвижки якорей, достигает 150—200 *м*.

Если ширина траншеи при одной проходке оказывается недостаточной, то снаряд подается назад и параллельно первой траншее проходится вторая и т. д.

В таблице 18 приведены основные показатели отечественных плавучих землесосных снарядов[1].

Трест Гидромеханизации по предложению А. В. Мороза спроектировал, построил и испытал в конце 1955 г. опытный роторно-напорный земле-

[1] Справочник строительного оборудования для гидроэнергетического строительства. Госэнергоиздат, М.—Л., 1954.

Таблица 18

Показатели	Единица измерения	Тип плавучего землесосного снаряда			
		100-35	300-40	500-60	1000-80
Наибольшая глубина разработки и опускания рыхлителя	*м*	7,0	11,0	15,0	15,0
Наименьшая глубина разработки	»	2,0	3,5	4,5	6,0
Осадка	»	0,7	1,0	1,1	1,42
Ширина прорези (наименьшая)	»	30,0	35,0	45,0	53,0
Диаметр всасывающей трубы	*мм*	300,0	550,0	700,0	950,0
Диаметр напорного трубопровода	»	300,0	500,0	700,0	800,0

сосный снаряд ЗГМ-1[1]. Он отличается от существующих конструкций наличием роторно-ковшового разрыхлителя-питателя (рис. 154), примененного в комплексе с напорным свайным ходом. Всасывающая труба *9* присоединена к нижней части подводного бункера *2* и всегда находится ниже уровня грунта в бункере.

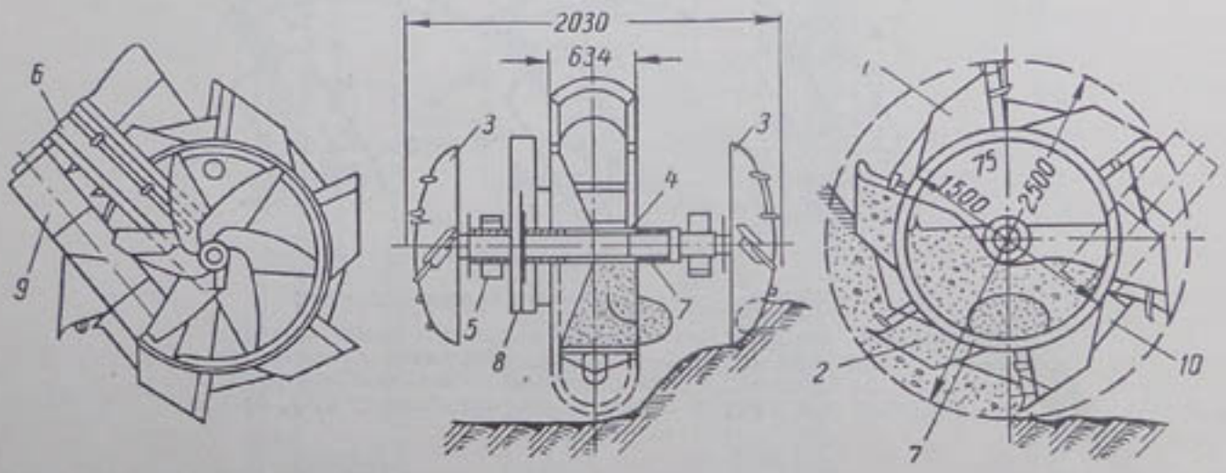


Рис. 154. Головка роторно-напорного землесосного снаряда ЗГМ-1:

1—многоковшовый ротор; *2*—загрузочный бункер; *3*—лопастные многоножевые фрезы; *4*—вал, на который посажены фрезы; *5*—текстолитовые подшипники, смонтированные на раме *6*; *7*—текстолитовый подшипник, на котором подвешен бункер *2* на валу *4*; *8*—цепная передача; *9*—всасывающая труба; *10*—козырьки.

Грунт, разрыхленный многоножевыми фрезами *3*, захватывается черпаками ротора *1* и при вращении их, во время прохождения черпаков над бункером, высыпается в бункер; ковши ротора и лопастных фрез снабжены зубьями.

Максимальная глубина разработки грунта разрыхлителем 6,5 *м* ниже уровня воды, наружный диаметр ротора 2,5 *м*; он приводится в движение электродвигателем мощностью 44 *квт*.

Землесос ЗГМ-1 имеет электродвигатель мощностью 320 *квт*. Установка снабжена глубиномером разрыхлителя и весовым консистомером пульпы И-7.

При испытаниях в песчаных грунтах на р. Волге вблизи г. Горького, согласно геодезическим промерам отвала, средняя объемная консистенция пульпы за 11,5 часа работы была 30—35% (около 1 : 2), а средняя производительность по грунту 330 $м^3/час$; при коротких пульповодах и расходах гидросмеси 1500—1600 $м^3/час$ средняя консистенция пульпы составляла 40—45%, т. е. производительность по грунту составляла 500—700 $м^3/час$.

Таким образом, средняя эксплуатационная производительность установки по грунту была в 2—3 раза выше, чем у аналогичного землесосного сна-

---

[1] В. А. Мороз. Роторно-напорный землесосный снаряд ЗГМ-1. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 7, 1956.

ряда ЗГМ-1, и равнялась производительности землесосного снаряда 300-40 с землесосом 20Р-11 и двигателем втрое большей мощности.

При испытаниях установки в глинистых и суглинистых грунтах (высота забоя 6—7 *м*, температура воздуха от 0 до 8°) пульпа имела среднюю консистенцию 10—20%, производительность была 190 $м^3/час$, ковши ротора и его внутренние полости при работе на глине не забивались.

Таким образом, испытания подтвердили, что роторно-напорный землесосный снаряд может успешно разрабатывать суглинки и глины и что новое приемно-разрыхлительное устройство вполне себя оправдало.

Производство гидромеханизированных работ базируется в последние годы на применении главным образом землесосных снарядов. Повышение их производительности представляет поэтому наибольший интерес, так как это позволит интенсифицировать и удешевить гидромеханизацию в целом. Прогресс в этом направлении сулит автоматизация.

Трестом Трансгидромеханизация сконструированы, оборудованы и испытываются в производстве землесосные снаряды с автоматическим управлением. Посредством снаряда 12НЗЭА ведется разработка песчаного карьера на р. Оке близ г. Каширы[1].

Все основные операции работы снаряда автоматизированы. Машинист-оператор наблюдает за показаниями приборов на пульте управления, не вмешиваясь в работу установки. Оптимальный режим работы снаряда удерживается приборами-датчиками. На снаряде автоматически осуществляется разработка вертикальной выработки, ширина и глубина траншеи, заданное направление снаряда со сменой свай и переключением папильонирования. Автоматически регулируется и контролируется положение и режим работы приемно-всасывающей части и пульповода, при этом достигается подача пульпы высокой консистенции. Все это увеличило производительность снаряда по грунту на 10% и коэффициент использования его во времени тоже на 10%. Подготавливается автоматизация управления и более мощными снарядами 300-40 и 500-60.

Для очистки отстойников и оросительных каналов при отсутствии электроэнергии применяются дизельные плавучие установки 8ПЗУ-1 и 8ПЗУ-2 с разрыхлителем конструкции Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации (ВНИИГиМ). Производительность установки 720 $м^3/час$ по воде, двигатель ЗД-6 мощностью 150 *л. с.* Длина понтона 12 и 15 *м*, ширина 3,8 и 4,5, осадка 0,6 *м*. Глубина разработки с разрыхлителем 3,5 *м*, без него—6. Дальность транспортирования пульпы 600 *м*. Эти снаряды могут производить работы в каналах шириной по урезу воды от 6 до 60 *м*.

Для очистки от наносов крупных ирригационных каналов завод «Красное Сормово» сконструировал землесосную установку «Сормовский» производительностью по грунту 240 $м^3/час$ и глубиной разработки 11 *м*. Для тех же целей механический завод в г. Поти сконструировал установку производительностью по грунту 150 $м^3/час$, с глубиной разработки 4,5 *м*.

Малогабаритная землесосная плавучая установка 4ПЗУ-ВНИИГиМ предназначена для работ в легких грунтах (рис. 155). Установка производит разработку грунта в широких каналах, прудах и водоемах папильонажным способом, а в узких каналах, там, где нельзя осуществить поворот корпуса установки,—поворотом сосуна. Наибольшая глубина опускания сосуна 3,5 *м*. Пульпа транспортируется по плавучему трубопроводу, а в узких каналах может выбрасываться на берег под напором, создаваемым землесосом через трубу-насадку; дальность вылета пульпы 20—25 *м*. Оборудование установки смонтировано на плоскодонном металлическом понтоне длиной 4,6 *м*, шириной 2,2, высотой 0,8 *м*. Осадка понтона 0,25 *м*. Установку можно перевозить на грузовом автомобиле в собранном виде, ее вес

---

[1] П. П. Дьяков. Плавучий землесосный снаряд с автоматическим управлением. Изд. Минтрансстроя СССР, М., 1957.

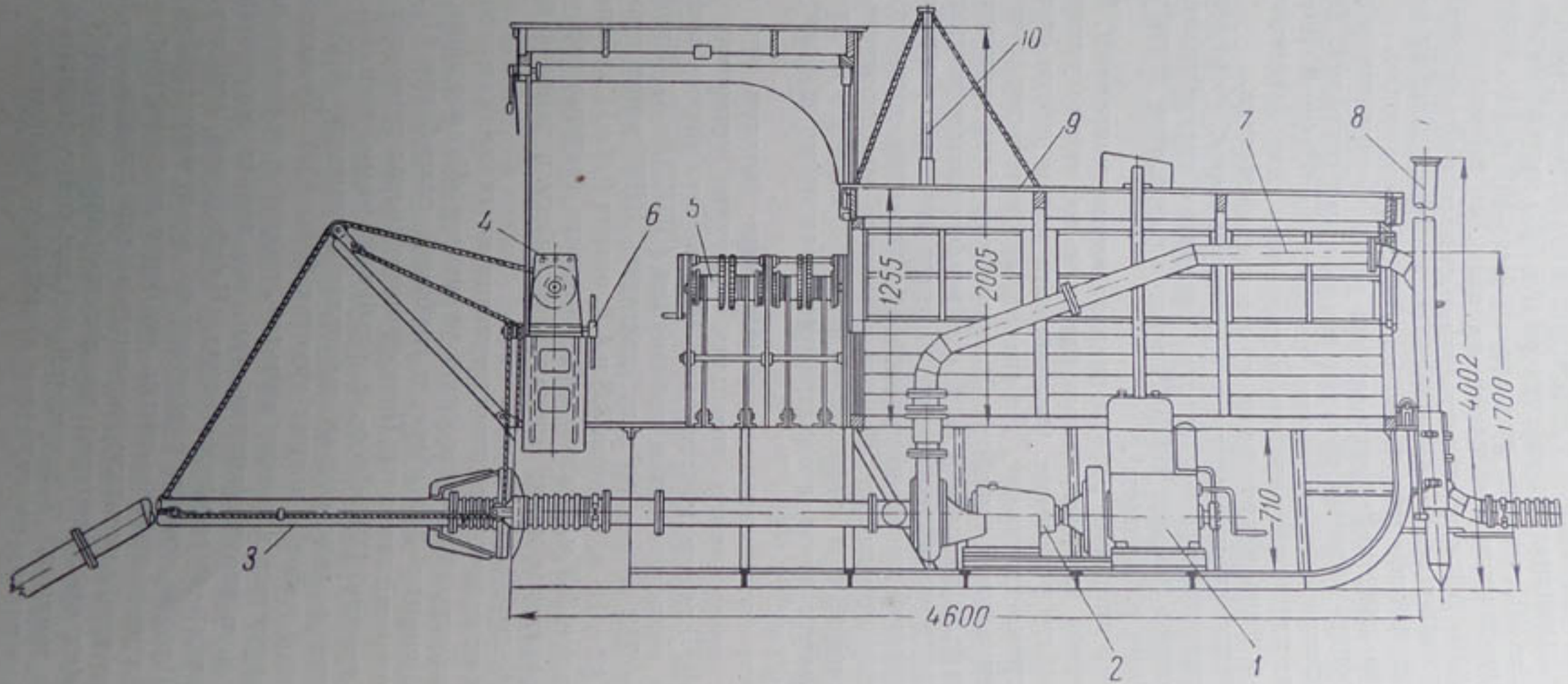


Рис. 155. Малогабаритная землесосная плавучая установка 4ПЗУ-ВНИИГиМ:

1—дизель $2Ч-\frac{10,5}{13}$; *2*—землесос; *3*—сосун; *4*—однобарабанная лебедка; *5*—четырехбарабанная лебедка; *6*—лебедка поворота сосуна; *7*—напорный трубопровод; *8*—свайный механизм; *9*—надстройка; *10*—мачта для подвески выбросной трубы.

2,5 *м* (без плавучего трубопровода). По водоему она передвигается самостоятельно благодаря реактивному действию струи воды; скорость передвижения в спокойной воде 11 *км/час*.

§ 11. ГИДРОТРАНСПОРТ ПУЛЬПЫ

Транспорт пульпы к месту укладки может быть безнапорным (при движении в лотках) и напорным (при подаче пульпы пульповодами).

Безнапорный гидротранспорт может применяться только при благоприятных условиях рельефа, когда карьер расположен достаточно высоко над местом укладки и можно провести с требуемым уклоном лотки или канавы, в которые поступает пульпа от гидромонитора. Необходимые уклоны лотков и канав указаны в таблице 19.

Таблица 19

Род грунта	Уклоны	
	лотка	канавы
Песок	0,025—0,035	0,03—0,05
Песок с содержанием гравия диаметром до 25 *мм*	0,035—0,100	—
Супесь	0,030—0,035	0,04—0,05
Суглинок	0,025—0,030	0,03—0,04
Глина	0,015—0,025	0,02—0,03

Размыв грунта гидромониторами и гидротранспорт его по трубам самотеком применялся на строительстве Майкопской плотины, частично Каховской и Кайрак-Кумской ГЭС. Безнапорный гидротранспорт грунта является самым экономичным видом транспорта.

Напорный гидротранспорт пульпы по трубам происходит при переменном режиме под воздействием турбулентного перемешивания. Твердые частицы в той или иной степени должны следовать за частицами жидкости, но режим их перемещения различен в зависимости от скорости движения, консистенции пульпы, размера, удельного веса и формы частиц грунта.

Движение пульпы по трубам имеет три характерных режима (рис. 156).

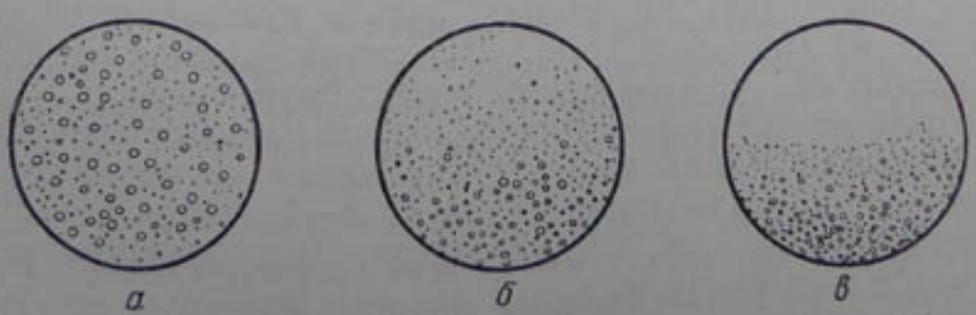


Рис. 156. Размещение частиц грунта в потоке пульпы в пульповоде при скоростях:
а—больших; *б*—близких к критической; *в*—малых.

1. Движение с большими скоростями (рис. 156, *а*), при которых все частицы грунта передвигаются во взвешенном состоянии и более или менее равномерно распределены по сечению пульповода. Этот режим связан с увеличением потерь напора и требует усиленного расхода энергии. Так как стоимость электроэнергии является основной частью расходов на гидромеханизацию, то такой режим является невыгодным. Это подтверждается данными таблицы 20, в которой приведены величины основных показателей

Таблица 29

Наименование элементов стоимости напорного гидротранспорта	Процент от общей стоимости
Монтаж пульповодов	1,0[1]
Демонтаж пульповодов	0,5
Электроэнергия	82,0
Амортизация пульповодов	10,0
Эксплуатационные расходы по содержанию пульповодов	6,5
Всего	100

стоимости напорного гидротранспорта (при работе в угольной промышленности)[2].

2. Движение при так называемых критических скоростях, т. е. наименьших средних скоростях, при которых весь грунт передвигается во взвешенном состоянии, но с концентрацией наиболее крупных частиц у дна трубы и с неравномерным распределением частиц по высоте трубы (рис. 156, *б*). Критическая скорость предшествует началу осаждения частиц данной крупности и экономически выгодна. Для гидротранспорта при таком режиме движения пульпы в трубе требуется наименьший расход электроэнергии.

3. Движение при малых скоростях, меньше критических, при которых частицы грунта начинают выпадать на дне пульповода и образуют отложения; при таких скоростях распределение твердых частиц по сечению еще более неравномерно (рис. 156, *в*). Отложения на дне пульповода ведут часто к его закупорке.

При расчетах гидротранспорта все исследователи исходят из величины критической скорости и по ее значению, в зависимости от диаметра пульповода, крупности и состава частиц, консистенции пульпы, определяют потери напора в пульповоде. Однако некоторые исследователи (Н. Д. Холин[3], Г. Н. Роер), исходя из принципа критических скоростей, считают целесообразным принимать диаметр пульповода больше того диаметра, который определен расчетом на критическую скорость, с тем чтобы на дне пульповода образовался слой заиления, уменьшающий истирание трубы транспортируемым грунтом. Указанные специалисты считают, что выпадение частиц грунта будет происходить до тех пор, пока в пульповоде не установится режим критических скоростей и что, следовательно, поток гидросмеси обладает способностью сам устанавливать критическую скорость.

Такое положение не соответствует, однако, данным практики; известно, что при недостаточных скоростях пульповоды частично забиваются грунтом; промывки их продолжаются иногда по 8—10 часов. Известны случаи полной забивки пульповодов, когда приходилось их просверливать и затем прочищать водой под напором.

При режиме потока со скоростями, меньшими критических, непрерывно изменяются сопротивления в пульповоде и работа землесоса становится неровной, пульсирующей. Это видно из графика (рис. 157), построенного автором по наблюдениям на одной из крупных строек для частично заиленных пульповодов. Обращают на себя внимание резкие изменения расходов,

---

[1] В гидротехническом строительстве монтаж пульповодов составляет 5—8% общей стоимости, значительно возрастая при работе в гравелистых грунтах.

[2] Г. Н. Никонов, С. О. Славутский. Гидромеханизация в угольной промышленности. Углетехиздат, 1952.

[3] Н. Д. Холин. Гидромеханизация в современном строительстве. Трудрезервиздат, 1953.

скоростей и мощности. Регулировка режима землесосов и пульповодов в этом случае делается невозможной, установка землесос—пульповод—всас является саморегулирующей и остается неизвестным, к чему приведет такая саморегулировка—к работе с постоянно меняющимся расходом и консистенцией пульпы или к закупориванию пульповода. Такой режим, по нашему мнению, нерационален.

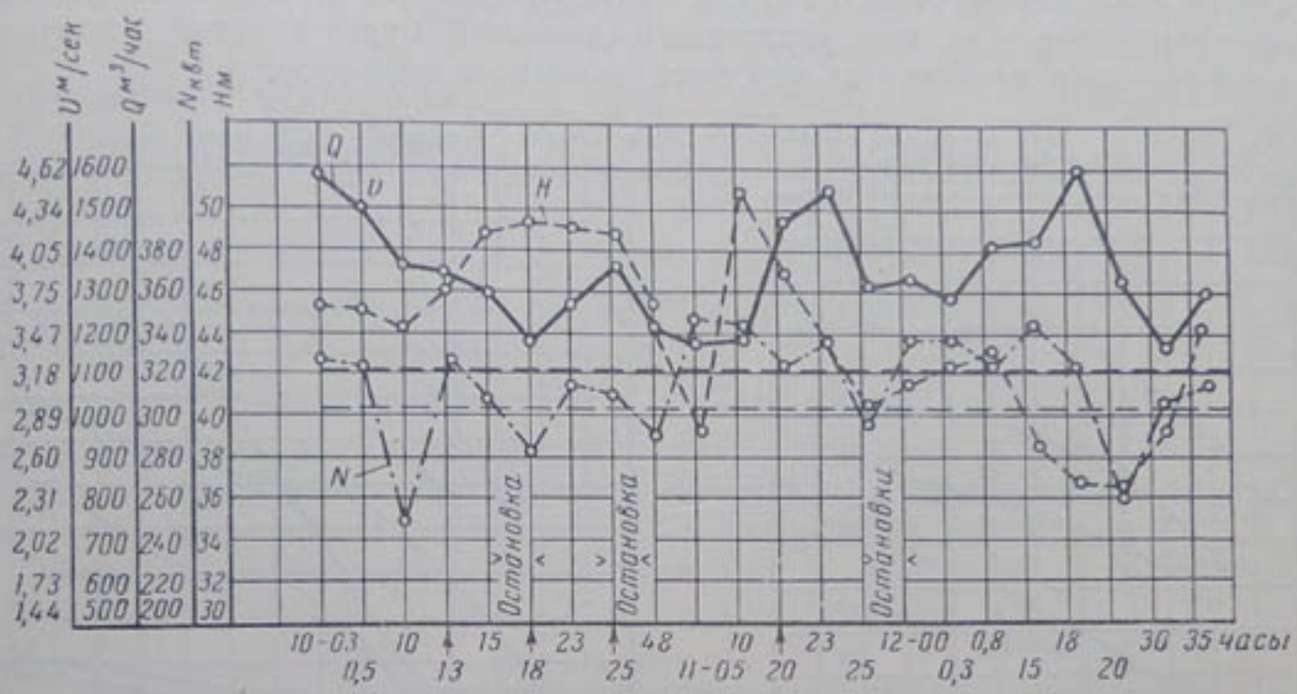


Рис. 157. Кривая изменения расхода Q и скорости v, мощности N и напора H землесоса ЗГМ-1.

Что касается соображений о сокращении износов пульповодов, то этот фактор вряд ли можно считать существенным, так как амортизация пульповодов составляет небольшую часть стоимости напорного гидротранспорта (около 10%). По данным, собранным инж. А. Е. Ивановым[1], металлический пульповод диаметром 700 *мм* с толщиной стенок 5 *мм* может пропустить не меньше 3 млн. $м^3$ грунта средней абразивности. При длине пульповода 2 *км* расход на его амортизацию составит 0,13 руб. на 1 $м^3$ грунта.

Однако и эту стоимость можно уменьшить с помощью ряда профилактических мероприятий: частых и систематических поворотов труб вокруг их оси (до трех раз), хорошей центровкой труб, обваркой внутренних поверхностей труб около их стыков на 2—3 *мм* износоустойчивыми сплавами.

За последние 10—15 лет советские ученые провели теоретические и экспериментальные исследования гидротранспорта пульпы.

Основные работы по изучению гидротранспорта в СССР выполнили В. С. Кнороз, А. П. Юфин, А. Н. Климентов, Г. С. Роев, Б. Е. Романенко, М. А. Дементьев, С. И. Горюнов и другие.

В результате этих исследований получены формулы для определения критической скорости и потерь напора в пульповодах. Сравнение значений $v_к$ по формулам различных авторов, выполненное Б. А. Романенко[2], показывает, однако, резко различные результаты как по зависимости критической скорости от консистенции пульпы $K_{об}$ (рис. 158, *а*), так и от крупности частиц (рис. 158, *б*). Величина критической скорости, определяемая для одних и тех же условий по формулам различных авторов, отличается в пять раз, а следовательно, потери напора, пропорциональные квадрату скорости, изменяются до 25 раз.

---

[1] А. Е. Иванов. К вопросу удешевления напорного гидротранспорта грунта. «Гидротехническое строительство» № 7, 1954.

[2] Б. Е. Романенко. Эффективные режимы и способы работы землесоса. Изд. «Речной транспорт», 1954.

М. А. Дементьев предлагает вообще отказаться от попыток дать формулы для определения критической скорости. Он указывает, что в формулы входит средний диаметр $d_{ср}$ частиц транспортируемого грунта, определяемый так или иначе в зависимости от гранулометрического состава грунта в карьере, изменяющегося в процессе работы; влияние $d_{ср}$ на величину критической скорости $v_к$ сравнительно велико. Кроме того, эффективный диаметр транспортируемого грунта будет изменяться при разных режимах гидротранспорта, так как увеличение скоростей будет связано с подъемом с нижней части пульповода крупных частиц, и наоборот.

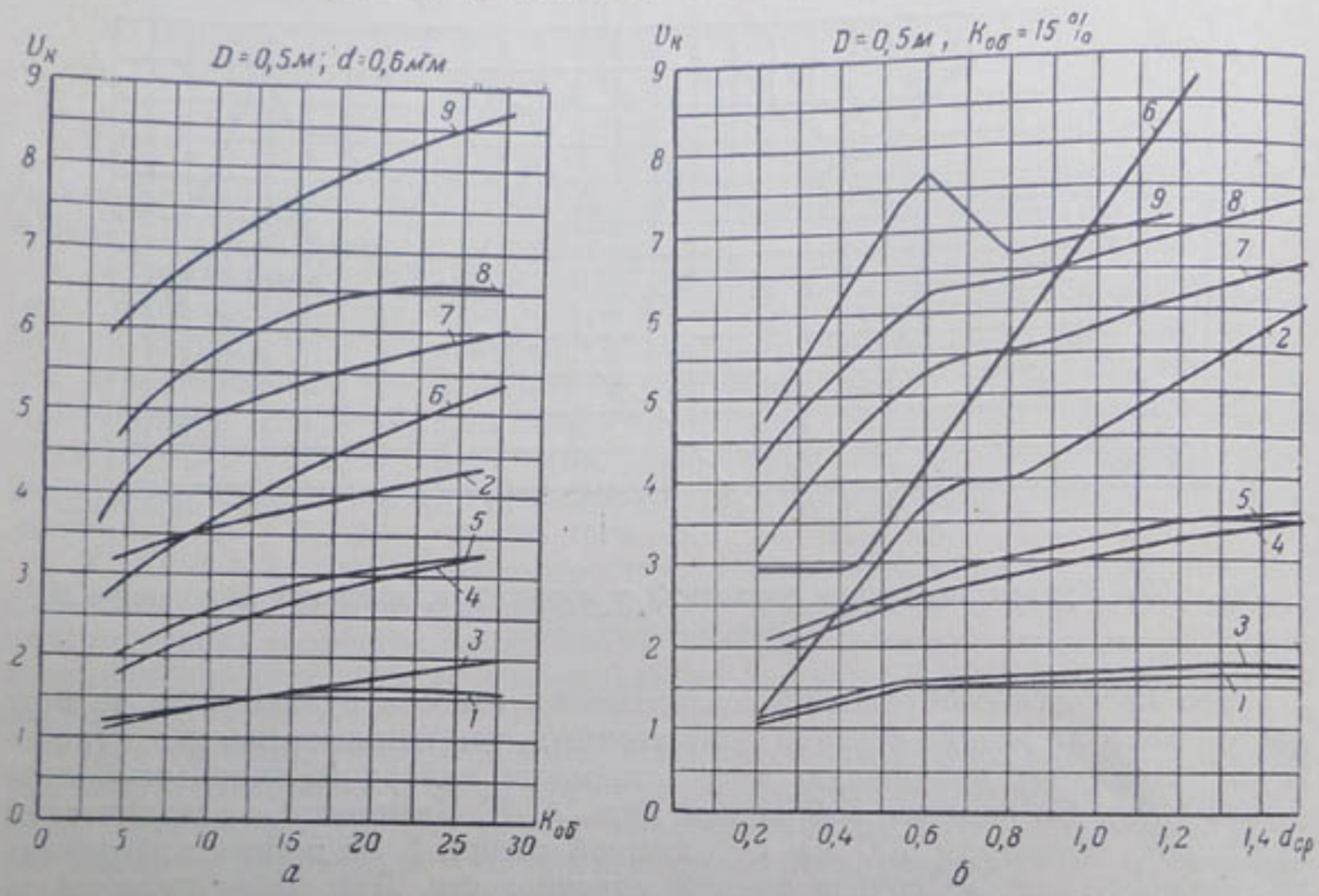


Рис. 158. Кривые зависимости критической скорости $v_к$:
а—от среднего объемного насыщения пульпы твердыми частицами $K_{об}$ по формулам различных авторов; *б*—от среднего диаметра частиц $d_{ср}$ по формулам тех же авторов: *1*—по Роеру; *2*—по Романенко; *3*—по Юфину; *4*—по Иванову; *5*—по Котульскому; *6*—по Евдокимову; *7*—по Дементьеву; *8*—по Великанову; *9*—по Кнорозу. *D*—диаметр трубопровода в *м*; *d*—диаметр частиц грунта в *мм*.

В некоторые формулы входит высота бугорков шероховатости (так называемая активная шероховатость), значение которой тоже определяется по гранулометрическому составу; к ней также относятся вышеприведенные соображения.

Лаборатория гидромеханизации Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники, руководимая М. А. Дементьевым, в течение 1949—1953 гг. изучала напорный гидротранспорт, в том числе в условиях, близких и натурным (при расходах пульпы до 500 *л/сек* и более), вела наблюдения по гидротранспорту в производственных условиях, собирала и систематизировала данные других авторов.

В результате этой работы предложен метод расчета пульповодов, основанный непосредственно на экспериментальных и производственных данных без использования понятия критической скорости и формул для ее определения[1]. Условия работы гидротранспорта и потери напора в пульповодах влияют на режим работы землесоса, а последний зависит от условий

[1] С. И. Горюнов. Способ приближенного расчета напорного гидротранспорта несвязных грунтов. Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники (ВНИИГ). Лаборатория гидромеханизации, 1955.

забора грунта его всасывающим устройством; режим насосной установки в целом определяется поэтому согласованной работой грунтозаборного устройства, землесоса и напорного пульповода. В таком аспекте мы и проведем дальнейшее изложение вопроса по Горюнову.

Расчет потерь напора. Потери напора H в метрах водяного столба на участке длиной L рассчитывают по формуле:

$$H = \frac{\lambda_в + \lambda_{гр}}{D} \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}, \qquad (91)$$

где D — диаметр пульповода;

$\lambda_в$ — коэффициент, учитывающий сопротивление при движении воды;

$\lambda_{гр}$ — дополнительный коэффициент, учитывающий сопротивления от наличия частиц грунта в потоке.

Согласно исследованиям В. А. Мелентьева для определения коэффициента $\lambda_в$ стальных труб может быть применена формула:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_в}} = 1{,}74 + 2\lg\left(\frac{R}{\varepsilon}\right). \qquad (92)$$

В этой формуле принято постоянное значение абсолютной шероховатости $\varepsilon = 0{,}15$ *мм*, что с некоторым запасом соответствует установившейся шероховатости в пульповодах после 100—200 часов эксплуатации.

Вычисленные по формуле (92) значения $\lambda_в$ приведены в таблице 21.

Таблица 21

Рекомендуемые значения коэффициента $\lambda_в$ при расчете пульповодов

D *мм*	$100\,\lambda_в$	D *мм*	$100\,\lambda_в$	D *мм*	$100\,\lambda_в$
200	1,80	400	1,55	700	1,40
250	1,75	450	1,55	800	1,35
300	1,65	500	1,50	900	1,30
350	1,60	600	1,45	1000	1,30

С целью определения коэффициента $\lambda_{гр}$ лабораторией гидромеханизации ВНИИГа был обработан весь собранный материал, причем выяснилось, что при $D > 100$ *мм* для мелкозернистых песков и $D > 200$ *мм* для крупнозернистых величина коэффициента $\lambda_{гр}$ практически не зависит от диаметра пульповода.

Для выяснения влияния гранулометрического состава грунта на величину коэффициента $\lambda_{гр}$ лабораторией были использованы кривые гранулометрического состава, показанные на рисунке 159. Обработка материала показала, что с достаточной для практики точностью близкие по своему гранулометрическому составу грунты можно объединить в восемь групп, в пределах которых значения коэффициента $\lambda_{гр} = f(vK)$ можно считать постоянными (K — консистенция пульпы).

Границы расчетных групп грунтов приведены в таблице 22.

В этой таблице границы групп зафиксированы в интервалах от d_{30} до d_{90}, так как выяснилось, что небольшие количества крупных частиц и мелочи, сильно отличающиеся от основной массы грунта, не оказывают заметного влияния на величину коэффициента $\lambda_{гр}$.

Значения коэффициентов $\lambda_{гр}$ для восьми групп грунтов приведены в указанной выше работе ВНИИГ. Для примера приводим одну из восьми таблиц для грунтов третьей группы (табл. 23).

Характер кривых $\lambda_{гр} = f(vK)$ для всех восьми групп грунтов одинаков; при больших скоростях значения $\lambda_{гр}$ имеют малую величину; с уменьшением скорости $\lambda_{гр}$ сначала медленно, а потом быстро возрастают. Вследствие этого возрастают и потери напора (рис. 160, *а*, пунктирные линии).

В этом случае работа пульповода неустойчива и возрастание потерь напора с уменьшением скорости может привести к полной забивке пульповода. Такие значения $\lambda_{гр}$ ограничены в таблицах С. И. Горюнова линиями; при проектировании пульповодов не рекомендуется пользоваться цифрами, расположенными левее граничных линий.

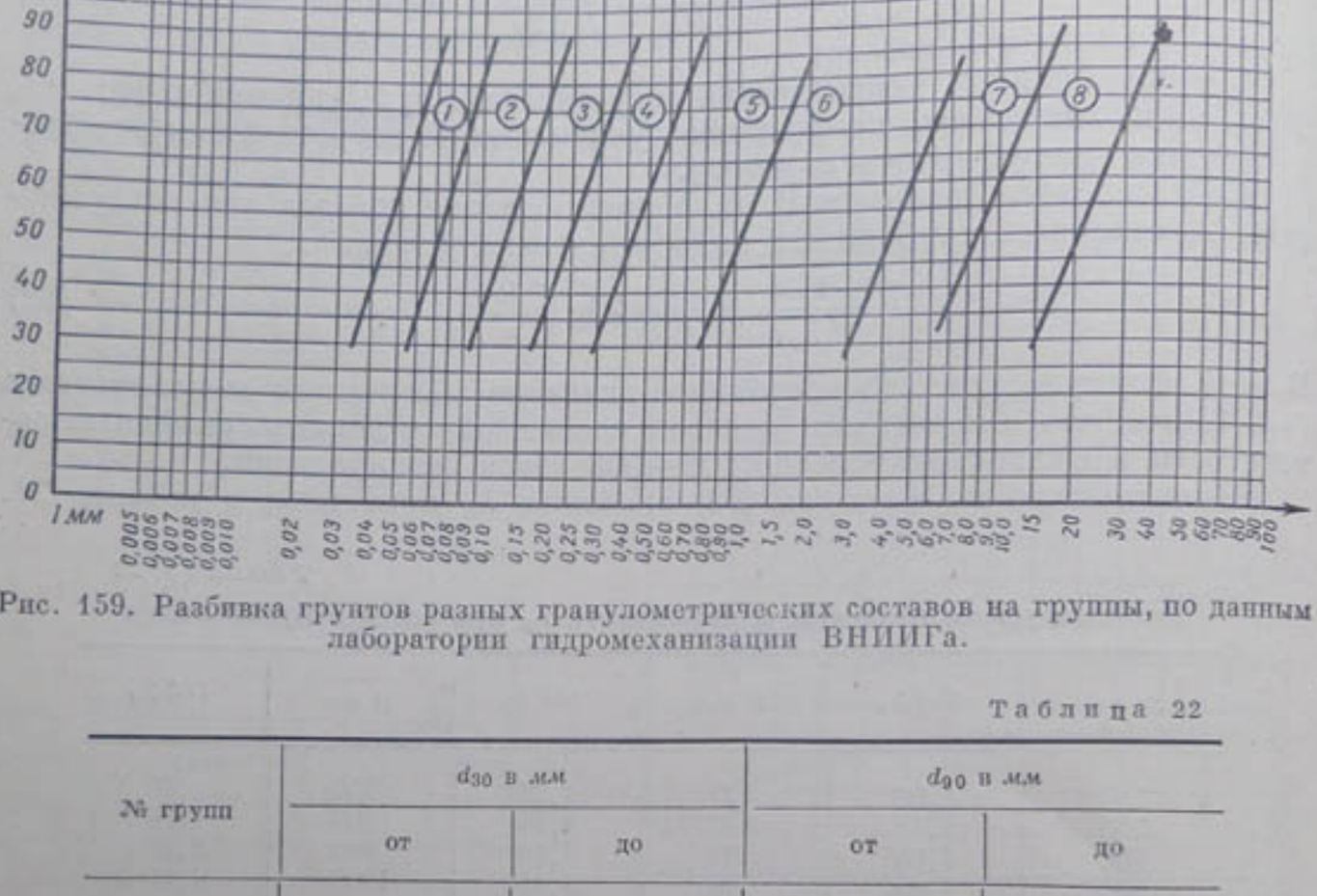


Рис. 159. Разбивка грунтов разных гранулометрических составов на группы, по данным лаборатории гидромеханизации ВНИИГа.

Таблица 22

№ групп	d_{30} в мм		d_{90} в мм	
	от	до	от	до
1	0,035	0,06	0,08	0,13
2	0,06	0,10	0,13	0,25
3	0,10	0,18	0,25	0,45
4	0,18	0,30	0,45	0,85
5	0,30	0,80	0,85	2,20
6	0,80	3,00	2,20	9,00
7	3,00	6,00	9,00	20,00
8	6,00	15,00	20,00	45,00

Определив $\lambda_в$ и $\lambda_{гр}$, можно по формуле (91) найти потери напора H. Для плавучих пульповодов следует увеличить значения $\lambda_в$ в 2—$2^1/_2$ раза и определить потери напора H по формуле:

$$H = [(2 \div 2{,}5)\,\lambda_в + \lambda_{гр}]\,\frac{L}{D}\,\frac{v^2}{2g}\,. \qquad (91а)$$

Потери напора определяют для всего диапазона скоростей и консистенции пульпы, практически интересных для производства.

Пример. Определить потери напора при гидротранспорте по пульповоду диаметром $D=800$ *мм* длиной 3000 *м* грунта следующего гранулометрического состава:

Размер в мм	<0,10	0,10—0,25	0,25—0,50	>0,50
%	17,7	70,0	11,8	0,5

По таблице 21 коэффициент $\lambda_в$ при $D=800$ *мм* равен 0,0135. На кривую гранулометрического состава грунта наносят границы расчетных групп

Таблица 23

Расчетные значения дополнительного коэффициента сопротивления $\lambda_{гр}$ для грунтов третьей группы

	100 $\lambda_{гр}$ при									
v м/сек / K%	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00
5	—	—	10,3	5,80	3,35	2,15	1,40	0,95	0,75	0,60
10	—	—	13,3	7,35	4,55	2,90	2,00	1,50	1,15	0,90
15	—	—	—	8,65	5,35	3,55	2,50	1,80	1,40	1,15
20	—	—	—	9,75	6,15	4,05	2,85	2,10	1,60	1,35
25	—	—	—	10,65	6,65	4,50	3,20	2,35	1,75	1,45
30	—	—	—	—	7,30	4,90	3,50	2,55	1,90	1,55
35	—	—	—	—	7,80	5,20	3,75	2,75	2,05	1,65
40	—	—	—	—	8,15	5,40	3,95	2,95	2,20	1,75

v м/сек / K%	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50
5	0,45	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,10	0,05	0,05
10	0,70	0,55	0,45	0,40	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,10
15	0,90	0,75	0,60	0,50	0,40	0,30	0,25	0,20	0,15	0,15
20	1,00	0,85	0,70	0,60	0,45	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
25	1,10	0,95	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
30	1,20	1,05	0,90	0,70	0,55	0,45	0,40	0,30	0,25	0,20
35	1,30	1,15	0,95	0,75	0,60	0,50	0,45	0,35	0,30	0,25
40	1,40	1,20	1,00	0,80	0,65	0,55	0,45	0,35	0,30	0,25

грунтов. В данном случае грунт относится к третьей группе и, следовательно, для определения $\lambda_{гр}$ можно пользоваться таблицей 23. При различных значениях скорости и консистенции определяют значение $\lambda_{гр}$ и по формулам (91) и (91, *а*) находят потери напора $H=f(Q, K)$. Характеристика пульповода показана на рисунке 160, *а*.

В частном случае, когда достаточно определить потери напора при определенной консистенции и скорости, расчет упрощается. Например, требуется определить потери напора на 100 пог. *м* длины пульповода для гидротранспорта грунта указанного гранулометрического состава при консистенции 15% и расчетном расходе $Q=5000$ *м*³/*час*:

$$v=\frac{4Q}{\pi D^2}=\frac{4\cdot 5000}{\pi\cdot 3600\cdot 0{,}8^2}=2{,}78 \text{ м/сек}.$$

По таблице 21 находим $\lambda=0{,}0135$ и определяем потерю напора:

$$H=\frac{(\lambda_в+\lambda_{гр})\,Lv^2}{2gD}=\frac{(0{,}0135+0{,}0135)\,100\cdot 2{,}78^2}{2\cdot 9{,}8\cdot 0{,}8}=1{,}33 \text{ м}.$$

При упрощенных расчетах следует учитывать, что земснаряды всегда работают с переменной консистенцией; поэтому для обеспечения устойчивой работы землесоса следует брать наибольшую по условиям целесообразности возможную консистенцию пульпы; это относится и к выбору расчетного грунта в карьере.

С. И. Горюнов сравнил условия работы земснаряда 500-60 на строительстве Каховской ГЭС при диаметре пульповода $D=800$ *мм*, расходе пульпы $Q=5300$ *м*³/*час*, скорости $v=2{,}9$ *м/сек*, устойчивом гидравлическом уклоне

0,016 и средней консистенции 1 : 12 для грунтов третьей группы по предложенному им методу и по формулам В. С. Кнороза, А. П. Юфина и Г. Н. Роера[1].

Аналогичное сравнение сделано С. И. Горюновым для грунтов восьмой

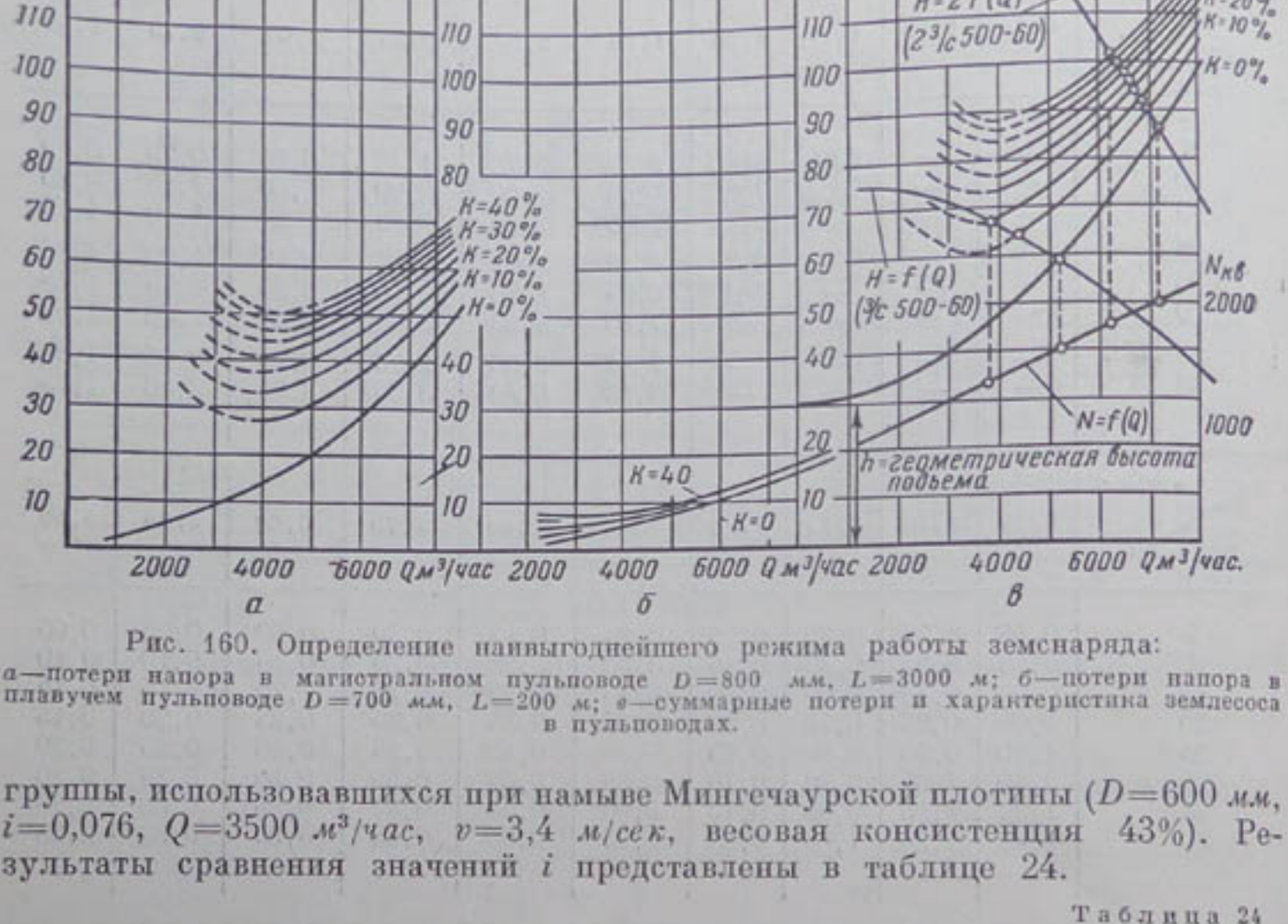


Рис. 160. Определение наивыгоднейшего режима работы земснаряда:
а—потери напора в магистральном пульповоде $D=800$ *мм*, $L=3000$ *м*; *б*—потери напора в плавучем пульповоде $D=700$ *мм*, $L=200$ *м*; *в*—суммарные потери и характеристика землесоса в пульповодах.

группы, использовавшихся при намыве Мингечаурской плотины ($D=600$ *мм*, $i=0{,}076$, $Q=3500$ *м*³/*час*, $v=3{,}4$ *м*/*сек*, весовая консистенция 43%). Результаты сравнения значений i представлены в таблице 24.

Таблица 24

Место работы	По Горюнову	По Кнорозу	По Юфину	По Роеру	Фактически
Каховская ГЭС	$\frac{0{,}014}{-12}$	$\frac{0{,}020}{+25}$	$\frac{0{,}017}{+6}$	$\frac{0{,}009}{-44}$	$\underline{0{,}016}$
Мингечаурская плотина	$\frac{0{,}076}{0}$	$\frac{0{,}061}{-20}$	$\frac{0{,}046}{-40}$	$\frac{0{,}057}{-25}$	$\underline{0{,}076}$

В этой таблице в числителе показана величина гидравлического уклона i, в знаменателе даны расхождения (в %) полученных по расчету величин от наблюденных (по формуле $\frac{\Delta i}{i}100$).

Отсюда можно сделать вывод, что предложенный лабораторией гидромеханизации ВНИИГа метод расчета имеет преимущества как по достоверности расчетов, так и по простоте вычислений.

§ 12. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ЗЕМСНАРЯДА. УСТАНОВЛЕНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПЕРЕКАЧЕК

При расчете гидротранспорта, как уже указывалось, должны быть согласованы режимы работы землесоса и пульповода; поэтому они должны

[1] В. С. Кнороз. Перемещение песчаных материалов напорным потоком жидкости. «Известия ВНИИГ», т. 40, 1948; А. П. Юфин. Напорный гидротранспорт. Госэнергоиздат, 1950; Г. Н. Роер. Гидравлические расчеты напорного гидротранспорта. Госэнергоиздат, 1952.

определяться точкой пересечения характеристик $H=f(Q, K)$ для землесоса и пульповода (рис. 160, *в*).

Способ построения характеристики $H=f(Q, K)$ для пульповода описан выше. Характеристика землесоса в зависимости от консистенции пульпы, по данным лаборатории гидромеханизации ВНИИГа, слабо меняется, за исключением случая очень значительной консистенции, в связи с увеличением вакуума перед землесосом. Поэтому для землесоса семейство характеристик $H=f(Q, K)$ можно заменить одной характеристикой $H=f(Q)$ по воде.

Ниже излагаются основы расчетов, рекомендуемые С. И. Горюновым[1] для выбора оптимального режима землесосного снаряда.

Наложив характеристику землесоса $H=f(Q)$ на семейство характеристик пульповода $H=f(Q, K)$, можно по точкам их пересечения найти все те режимы работы, которые могут быть осуществлены в данной системе.

Производительность гидротранспортной системы по грунту, равная нулю при работе на воде, когда Q имеет максимальное значение, увеличивается с повышением консистенции до некоторого максимума, а затем, в связи с уменьшением расхода землесоса, начинает падать. Таким образом, в каждой гидротранспортной системе среди возможных режимов работы будет такой, при котором производительность по грунту будет максимальной. Однако этот режим обычно находится в области неустойчивой работы землесоса; поэтому следует работать при производительности по грунту несколько меньшей, но обеспечивающей устойчивую работу землесоса. Такой режим для данных условий работы называют о п т и м а л ь н ы м.

Консистенцию и расход пульпы определяют непосредственно для каждого из возможных режимов и по ним—производительность системы по грунту. По характеристике землесоса по воде $N=f(Q)$ и найденному расходу пульпы определяют потребную мощность по воде. Увеличив ее в $\lambda_п$ раз, где $\lambda_п$—объемный вес пульпы, и разделив ее на производительность по грунту, находят затрату электроэнергии на 1 $м^3$ транспортируемого грунта. Если производительность гидротранспортной системы по грунту оказывается недостаточной, то производят пересчет при условии установки станции перекачки. В этом случае возможные режимы определяются точками пересечения характеристик пульповода с удвоенной по напору характеристикой землесоса.

Пример. Земснаряд 500-60, характеристика которого представлена на рисунке 161, *а*, транспортирует грунт третьей расчетной группы по плавучему пульповоду $D=700$ *мм*, длиной $L=200$ *м* и береговому пульповоду $D=800$ *мм*, длиной $L=3000$ *м* с подъемом по вертикали на высоту $H=30$ *м*. Определить оптимальные условия работы.

Определяем потери в плавучем пульповоде. По таблице 21 $\lambda_в=0{,}0140$; $\lambda_{гр}$ определяем по таблице 23 в зависимости от скорости и консистенции; потери напора в плавучем пульповоде находим по формуле (91, *а*). Результат расчетов наносим на график (рис. 160, *б*).

Складывая потери в обоих пульповодах при одинаковых расходах и консистенциях, добавляя к ним 30 *м* на подъем, находим характеристики $H=f(Q, K)$ для заданных условий (рис. 160, *в*).

На полученные характеристики накладываем характеристику землесоса $H=f(Q)$, предварительно исключив потери напора во всасывающей трубе и в напорном пульповоде в пределах земснаряда. По точкам пересечений характеристик определяем консистенцию, расход пульпы, расход по грунту, потребляемую мощность по воде N и затраты электроэнергии на 1 $м^3$ грунта по формуле:

$$Э_{уд}=\frac{\gamma_п N}{Q_{гр}} \quad квт \cdot ч/м^3.$$

---

[1] С. И. Г о р ю н о в. Способ приближенного расчета напорного гидротранспорта несвязаных грунтов. Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники (ВНИИГ). Лаборатория гидромеханизации, 1955.

Результаты расчетов показывают, что наибольший расход по грунту $Q_{гр}=230$ $м^3/час$ получается при $Q_п=3170$ $м^3/час$, при консистенции 12% и $Э_{уд}=5{,}5$ $квт\cdot ч/м^3$.

Так как точка, отвечающая максимальной производительности по грунту 230 $м^3/час$, лежит в зоне неустойчивых режимов (пунктирные линии), то за расчетную производительность следует принять $Q_{гр}=225$ $м^3/час$, что соответствует консистенции 10%.

Картина естественно меняется при устройстве станции перекачки, когда развиваемый напор удваивается. Если допустить, что земснаряд может работать при весовой консистенции до $К=40\%$, то $Q_{гр}=1360$ $м^3/час$, или в шесть раз больше, $Q_п=6270$ $м^3/час$ и $Э_{уд}=3{,}1$ $квт\cdot ч/м^3$.

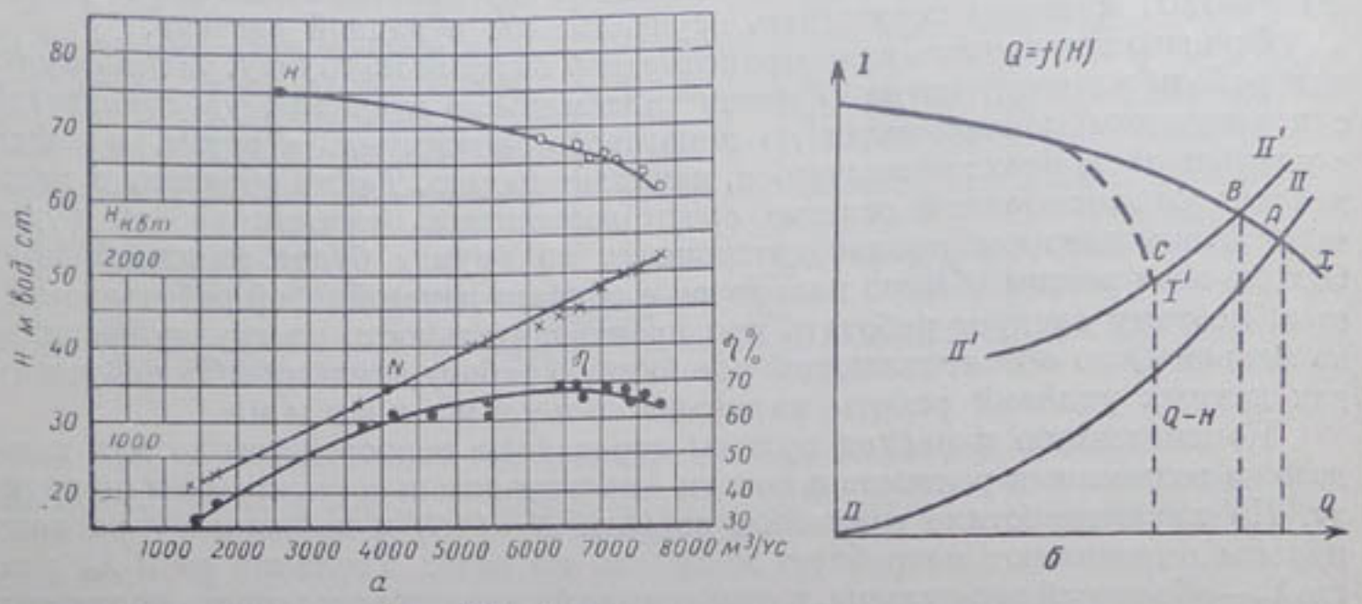


Рис. 161. Характеристика землесосов:

а—500-60; *б*—8НЗ (искажение характеристики землесоса $Q=f(H)$ при повышении гидравлических сопротивлений во всасывающей трубе).

Результаты расчета показывают преимущество увеличения напоров землесосов не только для обеспечения большей дальности транспортирования пульпы, но и в целях повышения производительности землесосной установки по грунту.

По нормам СН и П для грунтов I категории на разработку и транспортировку 1 $м^3$ грунта требуется расход воды 8 $м^3$, что соответствует весовой консистенции 20%. При этой консистенции для случая перекачки $Q_{гр}=730$ $м^3/час$ при $Q_п=6570$ $м^3/час$ и $Э_{уд}=5{,}3$ $квт\cdot ч/м^3$. Следовательно, и в этом случае установка станции перекачки рациональна.

Напомним, что паспортная производительность землесоса 500-60 по пульпе $Q_п=5000$ $м^3/час$ и по грунту $Q_{гр}=500$ $м^3/час$. Отсюда можно видеть, как сильно отличаются оптимальные режимы от паспортных и как велика польза от гидравлических расчетов.

Таблица 25

Земснаряд	Группы грунтов			
	3	5	7	8
	диаметр пульповодов в мм			
1000-80	1000	—	900	—
500-60	800	700	—	600
20НЗ	600	—	500	—
20Р-11	450	400	—	350
12НЗ	300	—	250	—
12Р-7				
8НЗ				

Вместе с тем расчеты показывают, как велико влияние консистенции пульпы на расчетную производительность гидротранспортной системы и землесоса по грунту.

Правильный выбор диаметра пульповода, обеспечивающий максимальную производительность земснаряда по грунту, имеет большое значение. С. И. Горюнов на основе сравнительных расчетов рекомендует для ориентировочного выбора диаметры пульповодов, указанные в таблице 25.

§ 13. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗЕМЛЕСОСА ПО ГРУНТУ

Из рассмотренного в предыдущем параграфе примера видно, что производительность землесоса по грунту в системе землесос—напорный пульповод может быть резко повышена в случае, если будет обеспечено засасывание землесосом достаточно густой пульпы, например 1 : 3—1 : 4. Однако фактическая консистенция пульпы, засасываемой землесосами с фрезерными разрыхлителями, значительно ниже.

а) Произведенные лабораторией ВНИИГа наблюдения за производственной работой земснарядов различных типов (300-40, 500-60 и др.) показали, что их всасывающие трубы не обеспечивают полного использования возможностей по разработке и транспортированию грунта и что повышение консистенции пульпы приводит к резкому искажению характеристики землесоса $Q = f(H)$.

Если характеристика землесоса не будет искажена повышенными сопротивлениями во всасывающей трубе, то режим работы систем по воде будет определяться точкой пересечения A кривой $I—I$ землесоса $Q = f(H)$ и трубопровода $II = II$ (рис. 161, *б*).

Вместо одной характеристики $Q = f(H)$ трубопровода для воды при работе с грунтом будет существовать семейство характеристик $Q = f(H)$ для пульпы, каждая из которых соответствует определенной ее консистенции. При транспортировании пульпы сопротивление пульповода больше и одна из кривых семейства характеристик пульповода с высоким содержанием пульпы будет $II'—II'$. Режим пульповода и землесоса с густой консистенцией пульпы определяется точкой B пересечения кривой $II'—II'$ и характеристики землесоса $Q = f(H)$; напор землесоса увеличивается, а расход уменьшается (по сравнению с транспортированием воды и пульпы слабой консистенции). Если сопротивление при всасывании грунта будет возрастать, то характеристика землесоса $Q = f(H)$ опустится вниз (пунктирная линия) и рабочая точка системы C сместится в зону малых напоров и расходов; в соответствии с этим уменьшится консистенция пульпы вследствие уменьшения напоров и производительности, а удельная энергия увеличится.

С. И. Горюнов для уменьшения сопротивлений при всасывании предлагает увеличивать сечение всасывающих труб и входных отверстий, что приведет к уменьшению гидравлических сопротивлений во всасывающей трубе, к выправлению характеристики землесоса $Q = f(H)$ и повышению консистенции пульпы; ввиду резкого снижения вакуума это мероприятие уменьшит и кавитационный износ рабочего колеса.

Инженер И. М. Левченко предложил при заборе грунта землесосом ЗГМ-1 с фрезерным рыхлителем повысить консистенцию пульпы путем увеличения диаметра всасывающего патрубка и уменьшения вследствие этого скорости в нем с 2,8 до 1,7 *м/сек*, а также путем углубления патрубка всаса внутрь фрезы примерно на треть высоты. Так как обычно наконечник всаса заканчивается на раме, то это уменьшило щель между наконечником и грунтом. В результате этих мероприятий консистенция пульпы повысилась с 1 : 13 до 1 :8, а земснаряд начал давать до 72 000 $м^3$ в месяц, что является рекордной производительностью для земснарядов ЗГМ-1[1].

[1] А. Д. Лабза. Из опыта эксплуатации Гидроустановок. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 4, 1949.

Однако в организации процесса всасывания заложены еще более крупные резервы, чем об этом говорят результаты производственных испытаний в 1953 г. земснаряда с землесосом 8НЗА с автоматическим управлением на песчаном Купавинском карьере Московско-Курской железной дороги.

Результаты испытаний приведены в таблице 26.

Таблица 26

Количество замеров	Консистенция пульпы	Количество замеров в % к общему числу замеров
4	1 : 8—1 : 10	15
12	1 : 6—1 : 8	46
7	1 : 4—1 : 6	28
3	1 : 3—1 : 4	11

Исследования, проведенные в 1952—1953 гг.[1], показали, что основные потери напора имеют место при входе гидросмеси в наконечник. При всасывании песка из зоны размыва предельных размеров весь подток происходит сверху или сбоку, а по оси наконечника образуется вихрь (рис. 162). Ближайшие к стенкам наконечника струи при входе в устье делают крутой

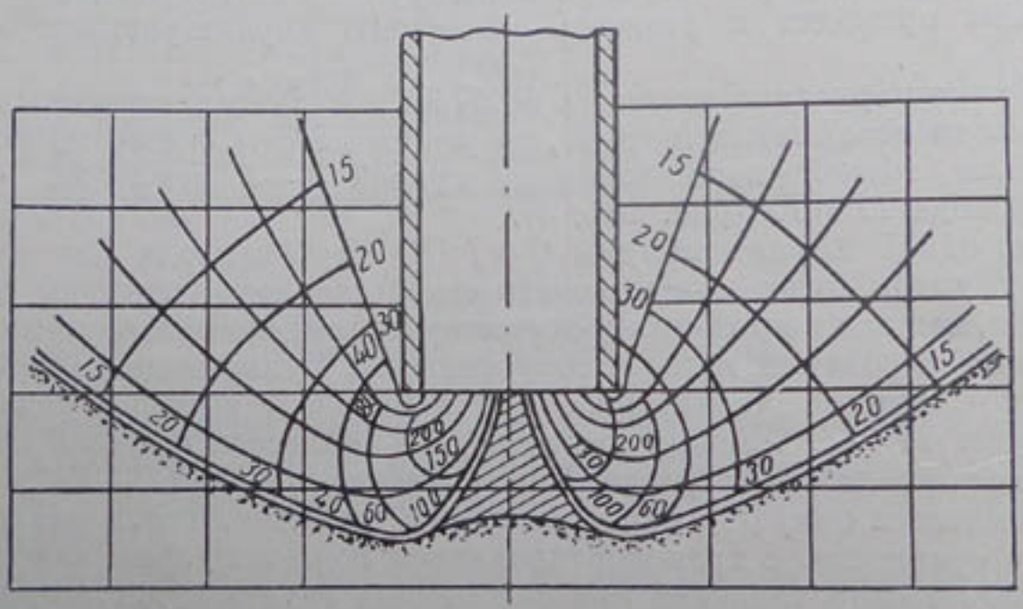


Рис. 162. Всасывание воды цилиндрическим наконечником из зоны размыва предельных размеров в песчаных грунтах.

поворот, что вызывает увеличение потерь напора. Авторы статьи на основе этих опытов предлагают форму наконечника, у которого кривая нижнего очертания совпадает с линией тока одной из подтекающих струй. Такая форма наконечника, хотя и сложная в выполнении, почти исключает подток сверху струй, не производящих размыв; по мнению авторов, она увеличивает потери на размыв и уменьшает потери на вход струй в наконечник, что должно привести к повышению производительности земснаряда и снижению затрат энергии.

Этот вывод согласуется с гидравлическими расчетами Л. М. Логова вакуумных линий ряда землесосов[2]. Расчеты показали, что создаваемый землесосом вакуум расходуется нецелесообразно, так как потери вакуума в сфере всасывания и при входе во всас составляют 28,7% от полного вакуума, а полезные потери на подъем и перемещение пульпы по трубопроводу — 41,4%.

[1] А. С. Бунтов, Д. В. Ращупкин, Г. А. Кошлаков. О повышении эффективности гидромеханизации. «Механизация строительства № 5, 1955.

[2] Л. М. Логов. О повышении производительности землесосов. «Гидротехническое строительство» № 1, 1953.

Л. М. Логов, изучая процесс всасывания грунтовой смеси землесосом, пришел к выводу, что для повышения производительности землесосов и снижения удельного расхода электроэнергии нужно устранить некоторые недостатки землесосов.

Торец всасывающей трубы (всас землесоса) располагается обычно с кольцевым зазором в 5—10 *см* по отношению к плоскости тылового обводного кольца фрезерного разрыхлителя. Через этот зазор вода попадает во всасывающий пульповод, что мешает поступлению грунта из полости разрыхлителя во всасывающий пульповод. Это снижает консистенцию пульпы и производительность землесоса.

Другой серьезный недостаток существующих конструкций землесосов состоит в том, что всас расположен на нижнем конце рамы землесоса, в результате чего между концом всаса и разрабатываемым разрыхлителем грунтом

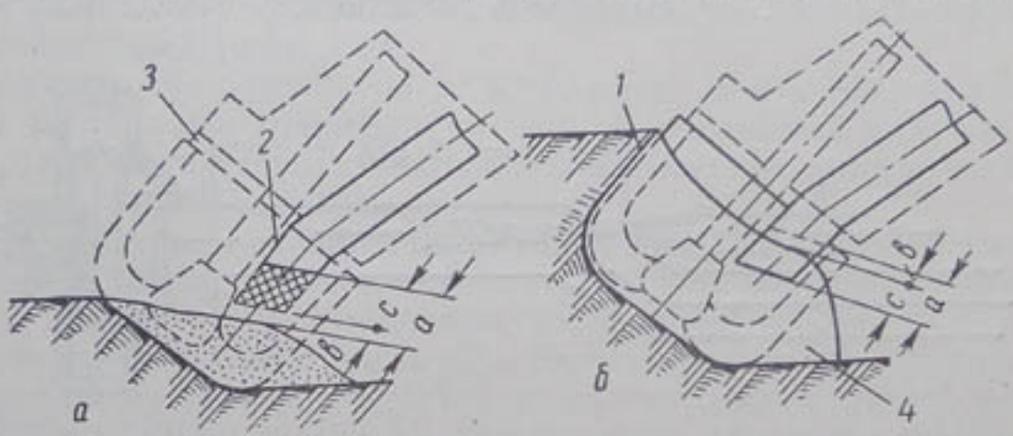


Рис. 163. Наконечники Л. М. Логова для грунтов:
а—тяжелых; *б*—легких. *1*—фрезерный рыхлитель; *2*—наконечник; *3*—кольцевой зазор; *4*—грунт.

имеется значительная щель; это снижает эффективность всасывания. Большие потери вакуума в сфере всасывания и при входе во всас также являются крупным недостатком землесосов.

Для устранения этих недостатков Л. М. Логов предложил прикрепить к торцу рамы наконечник (патрубок) со скошенным под некоторым углом к оси вакуума зевом.

Наконечник устраняет поступление воды через указанный зазор, сокращает щель примерно на 25% и приближает направление вакуума к перпендикулярному по отношению к поверхности разрабатываемого грунта.

Указанные мероприятия увеличивают всасываемость грунта, консистенцию пульпы и производительность землесоса. По данным лабораторных испытаний, только сокращение щели повышает консистенцию пульпы на 17%.

В тяжелых грунтах целесообразно удлинить наконечник на величину *с* с тем, чтобы уменьшить щель до величины *в* (рис. 163, *а*). В легких грунтах большие количества разрыхленного грунта скопляются позади приемного всаса и их вовлечение во всас приводит к излишним гидравлическим потерям; в этом случае заглубление наконечника в грунт *с* следует уменьшить укорачиванием его на величину *а*, в результате чего между его зевом и грунтом остается щель *в* (рис. 163, *б*).

С изменением глубины опускания рамы землесоса при неизменном положении угла наклона всаса α к горизонту создаются условия, неблагоприятные для всасывания. Для сохранения наивыгоднейшего положения наконечника необходимо, чтобы угол α возрастал с увеличением глубины опускания рамы.

Наконец, для увеличения эффективности подсоса грунта наконечником полезно его зев развернуть в сторону вращения головки разрыхлителя.

Основные параметры сменного наконечника должны быть подобраны для конкретных условий работы; так как смена наконечника производится

без снятия рамы, то ее нетрудно осуществить во время подготовки землесоса к работе или его ремонта.

Один из землесосов со сменным наконечником, работавший в более трудных условиях, чем такой же землесос без наконечника, показал увеличение производительности на 14,5%.

А. Д. Лабза предложил ставить инжекционные устройства во всасывающей трубе (рис. 164), обеспечивающие принудительное всасывание пульпы; с этой целью в 1,5—2,5 *м* от рабочего колеса *3*, точно против его центра на всасывающей трубе *2*, устанавливается насадок[1]. Кроме инжектирующего действия, насадок играет роль монитора, разбивающего отдельные комья, засосанные сосуном, автоматически восстанавливает срывы вакуума, что повышает к. п. д. землесосной установки. Для установки насадка на всасывающей трубе делается изгиб. В 1955 г. при намыве дамб Каховского гидроузла объемом 1,8 млн. $м^3$ выявилась возможность доводить консистенцию

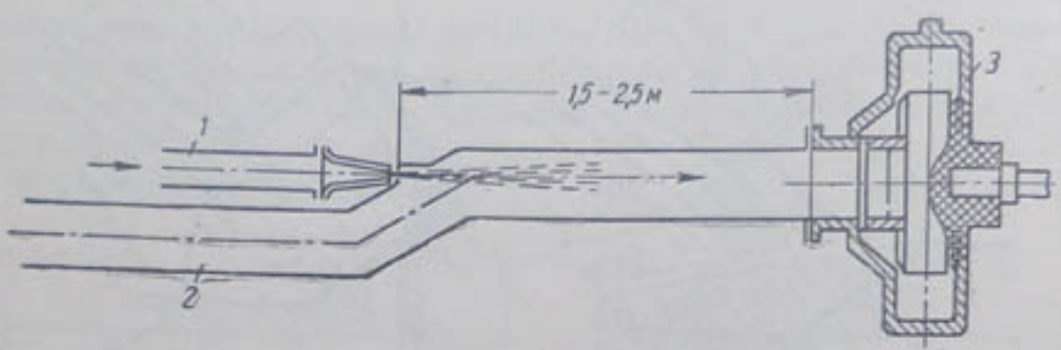


Рис. 164. Схема установки инжектирующей насадки *1* на всасывающей трубе *2* перед рабочим колесом *3*.

пульпы до 1 : 1 при значительной длине напорного пульповода, не опасаясь забивки пульповода грунтом. Расход инжектора составлял около 18—20% от расхода землесоса.

Коэффициент использования землесосных установок во времени повысился до 59,4%, производительность землесосов возросла на 25,4%, а общий объем работ четырех землесосных установок, выполненных за сезон, увеличился вдвое по сравнению с предыдущим годом.

Указанный метод принудительного всасывания успешно применялся и на ряде других строек.

Внедрение инжекции позволило увеличить длину всасывающих линий стационарных землесосных установок до 75—95 *м* и даже до 120 *м*.

Фирма Галловей в США, ведущий поставщик песка и гравия, широко применяет для форсирования землесосных работ «водометы», основанные на принципе инжекции. При этом достигается повышение производительности в три раза при удвоенной мощности механизмов (по сравнению со снарядами, не оборудованными водометами).

А. Н. Климентов[2] указывает, что критический (наибольший) вес пульпы во всасывающем пульповоде может быть достигнут следующими тремя способами: 1) повышением всасывающей способности землесоса путем улучшения его конструкции и ликвидации всех неплотностей, через которые может засасываться воздух; 2) уменьшением длины всасывающей трубы и потерь во всасывающей трубе путем увеличения ее диаметра до допустимого максимума, уменьшения местных сопротивлений; увеличением угла наклона всаса; 3) уменьшением геометрической высоты всасывания землесоса с доведением ее, по возможности, до отрицательной величины (путем расположения оси землесоса ниже горизонта воды).

---

[1] А. Д. Лабза. Гидромеханизация земляных работ на объектах треста Гидроспецметаллургстрой. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 5, 1957.

[2] А. Н. Климентов. К вопросу повышения производительности плавучих землесосных снарядов. «Гидротехническое строительство» № 3, 1951.

Вопрос об уменьшении глубины всасывания (для выемки грунта с глубины 30 *м*) в США решается применением землесосного снаряда с погружным землесосом, смонтированным на раме разрыхлителя[1].

В последнее время советские и зарубежные конструкторы занялись конструктированием новых типов разрыхлителей, обеспечивающих более высокую консистенцию пульпы и возможность работы как на несвязных, так и на связных грунтах.

Обнадеживающие результаты в обоих направлениях получены при испытании нового роторно-напорного земснаряда ЗГМ-1.

В США на заводе в Ливерпуле (штат Иллинойс) при разработке песка и гравия, прикрытых слоем глины, применен разрыхлитель в виде цепи-пории «Сунитек» длиной 12 м с ножами, разрыхляющими породу, что значительно увеличивает количество материала, поступающего во всасывающее отверстие; цепи имеют устройство для отбрасывания камней и других включений значительных размеров[2].

У американских землесосов к. п. д. выше, чем у наших, в среднем на 8—10%, а $K_{вр}$ больше примерно на 30%. Современный землесос «Хайдро-Квебек» разрабатывает моренные глины с большим количеством валунов и пропускает камни размером до 70 *см*.

Для повышения консистенции пульпы при работе в легких грунтах В. Я. Богданов, Н. М. Буренкова и М. Н. Уваров[3] предложили конструкцию фрезерного разрыхлителя с лемехами, обеспечившего повышение производительности земснаряда более чем на 20%. Расчеты указанных авторов показали, что при работе на тяжелых грунтах мощность разрыхлителей земснарядов 100-35, 300-40, 500-60 и 1000-80 должна быть увеличена на 40—50%.

Применение механических рыхлителей в слежавшихся гравийных грунтах сопровождается систематической их поломкой. Лабораторные опыты по гидравлическому рыхлению слежавшихся песчаных грунтов показали возможность повышения производительности всасывающего устройства на 25—30%.

Созданная на основе этих опытов производственная установка на гравийном карьере обеспечила превышение производительности земснаряда на 35% и увеличение коэффициента использования во времени.

Рыхлитель представляет собой незамкнутое кольцо, объемлющее всасывающий наконечник землесоса, на котором установлено восемь насадков с напором 80 *м*, с диаметрами выходных отверстий 25 *мм* (рис. 165); насадкам придан небольшой наклон, обеспечивающий направление вылетающих струй в одну точку, лежащую перед всасывающим наконечником на его оси[4].

Для повышения консистенции пульпы на пульповодах иногда устанавливают гидросепараторы (сгустители пульпы). На строительстве одного крупного гидроузла еще в 1950 г. был применен гидросепаратор, выполнявший одновременно роль камнеуловителя (рис. 166, *а*).

В 1950—1951 гг. ВНИИГиМ провел под руководством А. М. Царевского экспериментальные и полевые исследования гидросепаратора (рис. 166, *б*). По данным Л. Г. Жилкова, он был успешно использован при намыве опытных дамб из песчаного грунта с 20-процентным содержанием коллоидных частиц. Оказалось, что дамбы, намытые из отсепарированного грунта,

---

[1] В. Я. Богданов, А. Н. Климентов, Ф. Н. Чеботарев. Совершенствовать оборудование и технологию гидромеханизации. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 10, 1955.

[2] В. С. Хаблов. Добыча песка и гравия в США способом гидромеханизации. Министерство строительства электростанций, трест Гидромеханизации. Информационный сборник № 1, 1956.

[3] В. Я. Богданов, Н. И. Буренкова, М. Н. Уваров. Увеличение эффективности работы земснарядов путем предварительного рыхления грунтов. «Гидротехническое строительство» № 7, 1955.

[4] А. С. Бутов, В. Д. Рощупкин, Г. А. Кошлаков. О повышении эффективности гидромеханизации. «Механизация строительства» № 5, 1955.

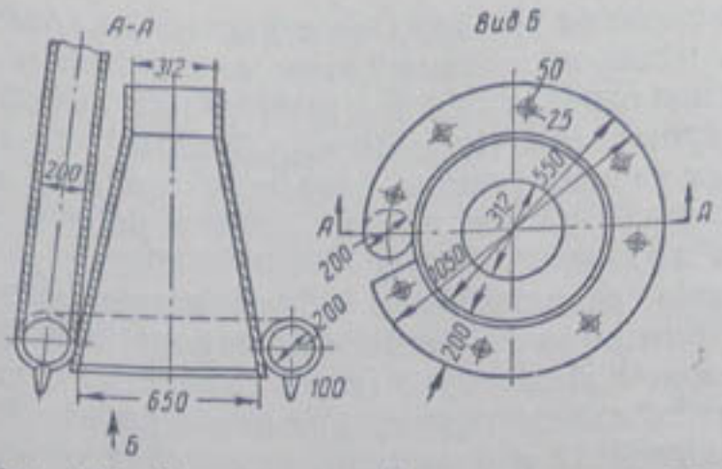
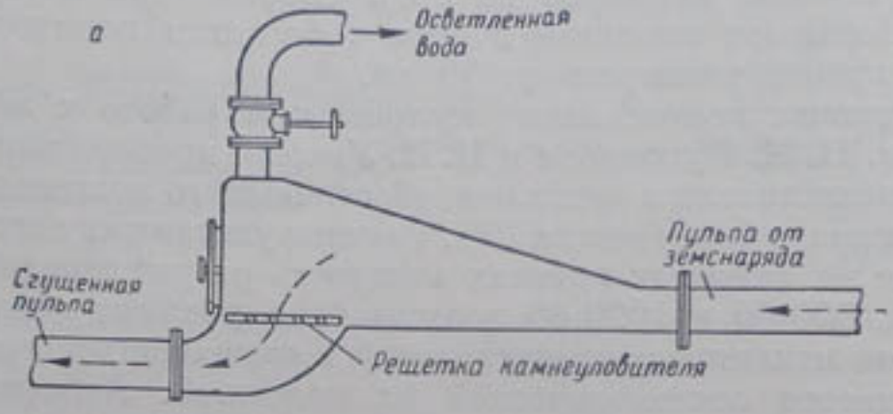
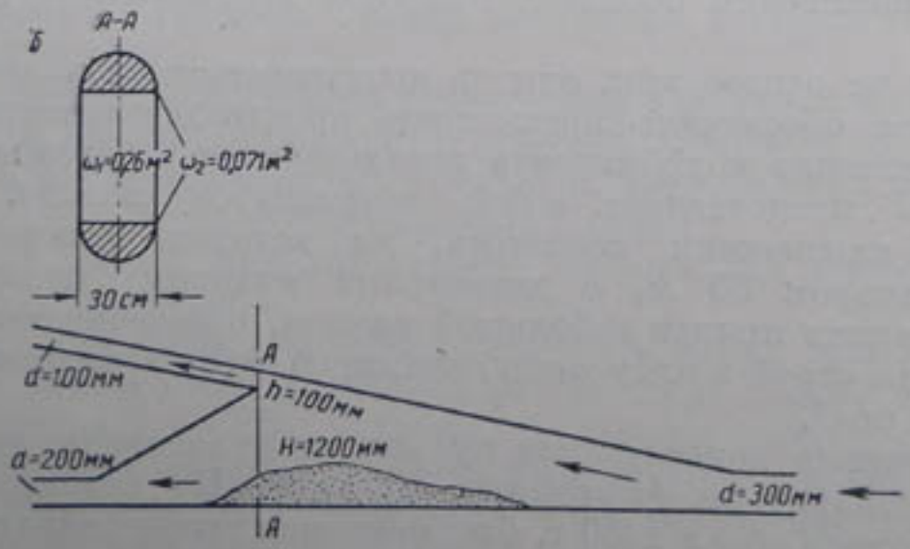


Рис. 165. Гидравлический рыхлитель на всасывающем наконечнике земснаряда 10НЗ.





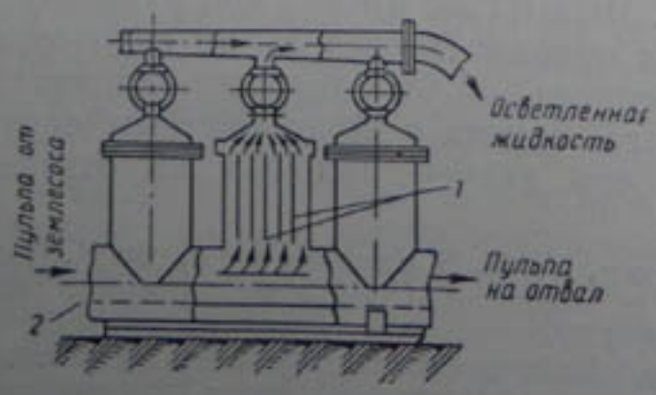


Рис. 166. Сгустители пульпы (сепараторы):
а—схема сгустителя пульпы треста Гидромеханизации; *б*—гидравлический сепаратор ВНИИГиМ; *в*—схема работы сгустителя, применявшегося в Кузбассе. *1*—перегородки; *2*—диафрагма.

дали меньшую осадку под сосредоточенной нагрузкой, чем дамбы, намытые без применения сепарации. Гидросепараторы и в настоящее время успешно применяются ВНИИГ на марганцовых рудниках для отмывки марганца из отходов производства.

В 1953 г. в Кузбассе были проведены испытания сгустителя, состоявшего из горизонтальной трубы длиной 19 *м* диаметром 450 *мм*, вмонтированной в напорный пульповод (рис. 166, *в*). В верхней части трубы было вварено 24 вертикальных стояка с перегородками из четырехмиллиметрового железа, поставленными на расстоянии 70—80 *мм* одна от другой для уменьшения вихреобразования и улучшения выпадения твердых частиц. В нижней части горизонтальной трубы по всей длине сгустителя вварена наклонная железная диафрагма для постепенного уменьшения площади ее живого сечения в связи с отбором осветленной жидкости; этим сохраняется постоянная скорость течения пульпы.

В результате применения сгустителей себестоимость разработки грунта снизилась на 15%, производительность механизмов возросла на 20—25%, удельный расход электроэнергии уменьшился на 10%; возросла также производительность труда рабочих.

Сгущение гидросмеси несомненно должно найти свое применение наряду с другими способами повышения эффективности гидромеханизации. Однако вопросы сгущения смеси в пульповодах не должны решаться в отрыве от вопросов всасывания гидросмеси и установления оптимальных режимов гидротранспортной системы землесос—пульповод. Переходить к сгущению пульпы следует после того, как проблема всасывания максимального количества грунта будет решена.

Конструкция гидросепараторов и их размеры должны определяться в каждом конкретном случае в зависимости от консистенции пульпы, ее гранулометрического состава и других факторов.

§ 14. НАМЫВ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН

Эстакадный намыв. При эстакадном двустороннем намыве (рис. 167, *а*) разводящие пульповоды *1* укладываются по эстакадам *2*, устраиваемым по обеим сторонам плотины. Пульпа, выпускаемая из отверстий в пульповодах, стекает к средней части плотины, откладывая по пути сначала крупные частицы, затем более мелкие. Самые мелкие частицы и вода попадают в среднюю часть намываемого сооружения и образуют здесь прудок *7*. Вода и мельчайшие частицы (0,005÷0,05 *мм*) сбрасываются из прудка и отводятся либо в отстойник, либо в реку.

Эстакады по мере роста намыва переставляются в новые положения по высоте и в плане. По линии обоих откосов отсыпаются дамбочки обвалования *5*; пульпу из разводящих пульповодов выпускают через отверстия по их длине, перекрываемые задвижками.

Эстакадный намыв, применявшийся у нас до 1952 г., имеет ряд серьезных недостатков. При этом способе приходится выполнять огромное количество вспомогательных работ: постройка, разборка и многократная перекладка эстакад и разводящих пульповодов, обслуживание выпусков и лотков, наблюдение за обвалованием и намывом одновременно по всему фронту; все это требует крупных затрат рабочей силы (около 30 человеко-дней на 1000 $м^3$ грунта) и значительных расходов лесоматериалов на эстакады и лотки (около 1700—2300 $м^3$ леса на 1 млн. $м^3$ намыва). При перестановке эстакад и перекладке пульповодов с яруса на ярус приходится прерывать намыв.

Наличие эстакад и лотков затрудняет работу по обвалованию; во второй стадии намыва яруса, когда габариты под эстакадами не допускают проход землеройных машин, обвалование неизбежно приходится выполнять вручную. Между тем кубатура обвалования значительна; например, на намыве Цимлянской гидростанции по дамбам обвалования было выполнено 650 тыс. $м^3$ земляных работ (2,2% от кубатуры плотины).

Не обеспечивается также качество и однородность работ, так как пульпа из первых выпусков имеет более густую консистенцию, чем из последних; например, при намыве Цимлянской плотины из мелкозернистых песков пляж имел продольный уклон вдоль пульповода; то же было и при намыве Мингечаурской плотины из песчано-гравелистых грунтов. По всем указанным причинам на намыве получаются перерывы в работе, что понижает коэффициент использования землесосных снарядов во времени (до 15% по данным В. А. Платонова).

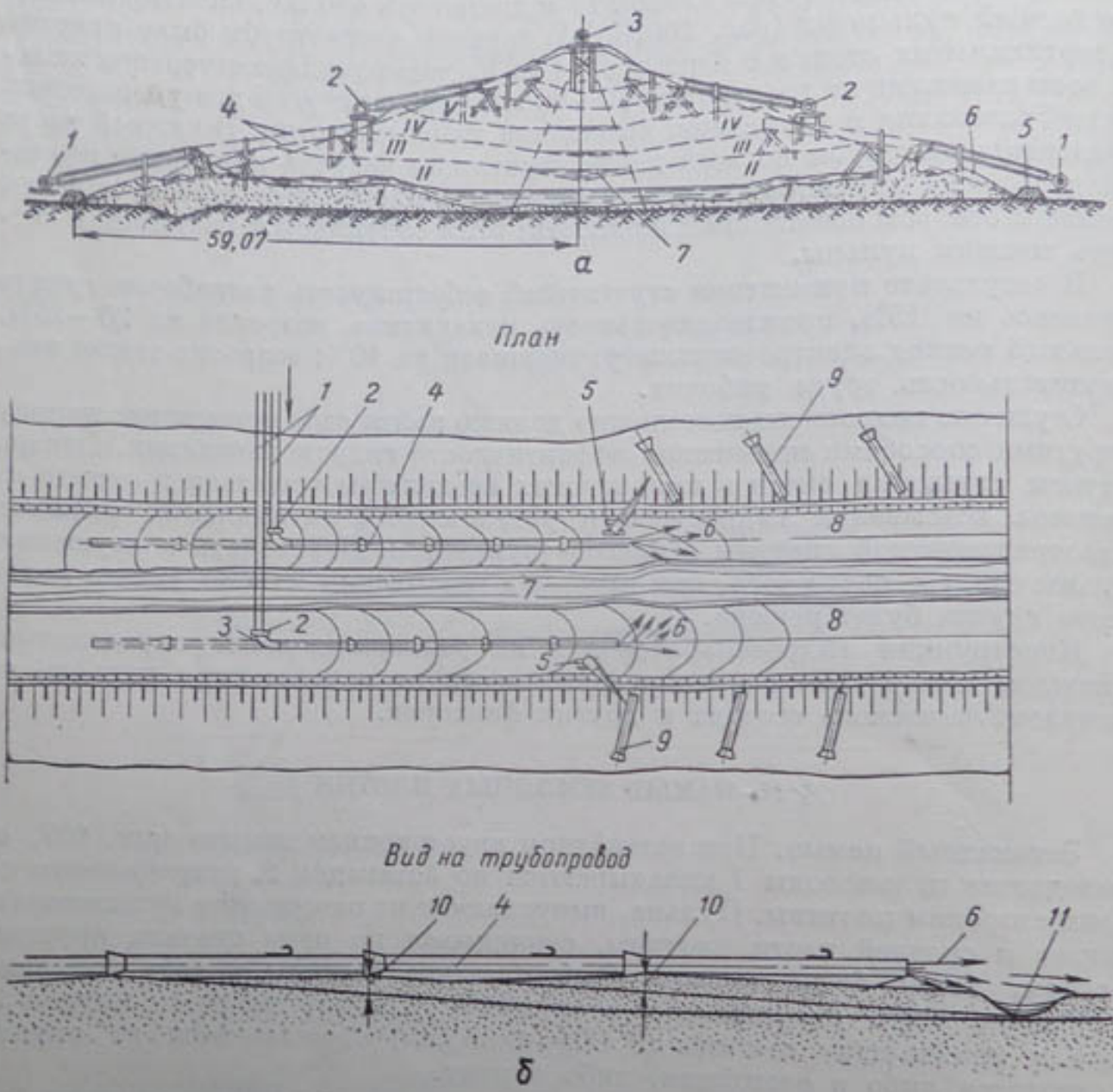


Рис. 167. Схемы намыва пульпы:

а—двусторонний эстакадный намыв: *1, 2* и *3*—первое, второе и третье положения магистрального пульповода; *4*—постепенное наращивание пульповода; *5*—начальное обвалование; *6*—последующее обвалование; *I, II, III, IV, V*—последовательные этапы намыва; *б*—безэстакадный намыв: *1*—магистральные трубопроводы; *2*—шарнир; *3*—гибкий шланг; *4*—раструбные трубы; *5*—гусеничный кран; *6*—растекание гидросмеси; *7*—прудок; *8*—боковые призмы; *9*—трубы для наращивания трубопровода намыва; *10*—толщина намываемого слоя за один челночный ход; *11*—углубление-кратер, вымываемый струей гидросмеси.

Изложенное показывает, что эстакадный способ не отвечает требованиям индустриализации строительства и не обеспечивает высокого качества выполняемых работ.

Безэстакадный намыв. В 1952 г. на намыве Мингечаурской плотины впервые был применен безэстакадный, торцовый, тонкослойный способ намыва (рис. 167, *б* и *в*), разработанный, испытанный и внедренный трестом Гидромеханизация. Это оказалось возможным благодаря разработке тем же трестом конструкции быстроразъемных соединений труб вместо ранее применявшихся фланцевых и стыковых.

При безэстакадном намыве разводящие пульповоды укладываются на поверхности намыва и пульпа подается из торца трубы. После намыва слоя высотой 15—20 *см* в радиусе 7—8 *м* от торца трубы к ней быстро присоединяют следующую трубу и т. д. По достижении конца фронта намыва трубы постепенно разбирают и намыв продолжается в обратном направлении; таким образом намыв производится при челночном перемещении труб. По мере намыва разводящий пульповод перемещается к центру сооружения, причем трубы укладываются вдоль откоса плотины на расстоянии 6 *м* от внутренней бровки.

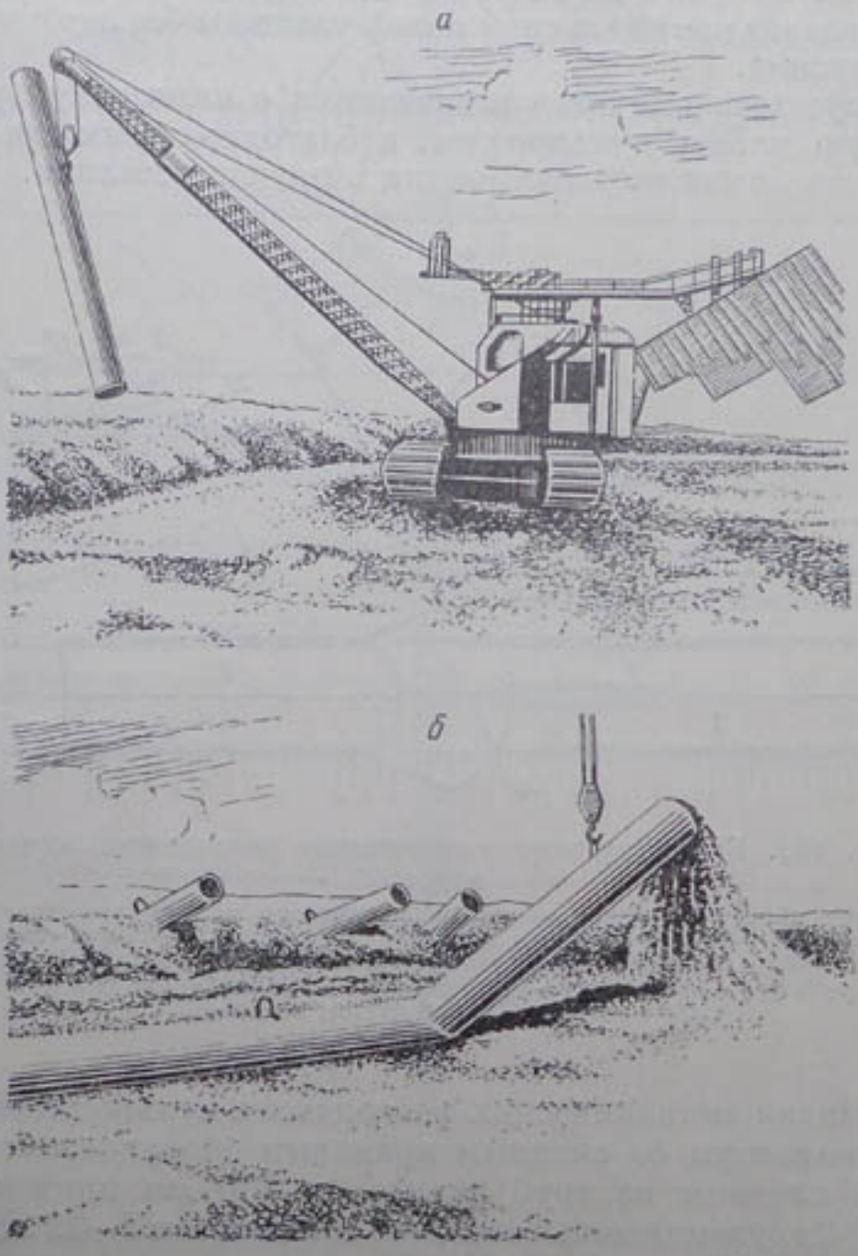


Рис. 168. Наращивание пульповода краном при безэстакадном намыве:
а—подъем трубы краном; *б*—работа трубы во время наращивания.

На этом участке передвигается кран, захватывающий трубу (рис. 168, *а*) и надевающий ее на торец предыдущей трубы. Наращиваемая труба поднимается под углом 75° к горизонту (рис. 168, *б*). Рабочий накладывает петлю на крюк, после чего кран опускает трубу. После опускания трубы происходит уплотнение резинового кольца стыка за счет изменения расстояния между шарниром скобы и крюком. Укладывать трубы необходимо строго прямолинейно.

На свободной шестиметровой полосе бульдозер или другая машина с некоторым опережением производит обвалование.

Быстроразъемное соединение (рис. 169) представляет собой конический раструб на конце одной трубы и соответствующее углу раструба массивное резиновое кольцо 7, перекрывающее и плотно обтягивающее концы труб,

зажатое между двумя металлическими кольцами *8* на конце другой трубы. При соединении труб внутренняя поверхность раструба плотно прилегает к резиновому кольцу. Соединяемые трубы стягиваются скобой с петлей *3*, шарнирно закрепленной на трубе, имеющей раструб. Скоба закидывается на крюк *5*, находящийся на конце предыдущей трубы. В процессе намыва Мингечаурской плотины резиновое кольцо было заменено круглым металлическим кольцом.

На соединение труб диаметром 400—900 *мм* крановщик и один рабочий затрачивают 4—7 минут, а на разборку 2—3 минуты; такое быстрое соединение труб позволяет намывать слой малой толщины без перерыва намыва во время их соединения.

Полное отсутствие выпусков и связанных с ними закупорок обеспечивает нормальную работу пульповодов, а благодаря тонкости намываемого слоя возможность смыва крупных частиц в прудок невелика.

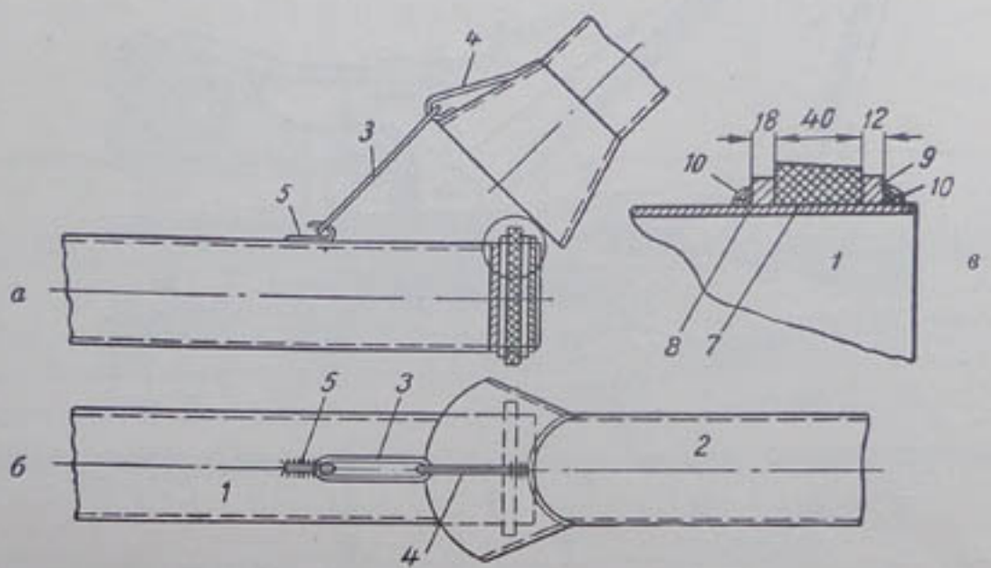


Рис. 169. Быстроразъемное соединение разводящих пульповодов:

а—вид сбоку; *б*—план; *в*—деталь резинового кольца уплотнения; *1*—конец трубы с резиновым кольцом уплотнения; *2*—конец трубки с раструбом; *3*—петля; *4*—глухое крепление петли; *5*—крюк крепления петли; *6*—раструб; *7*—резиновое кольцо уплотнения; *8* и *9*—бурты из прямоугольной стали; *10*—сварка.

Для перекладки металлических разводящих пульповодов применяются краны или экскаваторы со сменным крановым оборудованием. На намыве Мингечаурской плотины из труб диаметром 500 *мм* применялись краны-экскаваторы ТЭ-2 грузоподъемностью 3—5 *т* с вылетом 8—12 *м*, оказывающие на грунт давление 0,16 *кг/см*^{2}. На Куйбышевгидрострое применялись краны ТЭ-2, ПК-2М и ПК-3. Подход магистральных пульповодов к карте намыва и их разветвление показаны на рисунке 170.

Как показала практика, безэстакадный способ имеет ряд серьезных преимуществ перед эстакадным: достигается полная механизация работ, благодаря чему увеличивается использование во времени землесосных снарядов; в 3—4 раза сокращается расход рабочей силы на намыве; повышается качество намыва, так как мелкослойный намыв из торца исключает неравномерную раскладку грунта вдоль сооружения и обеспечивает более плотную его укладку; исключается расходование леса на эстакады и лотки.

На намыве Мингечаурской плотины, где пульпа подавалась землесосами 20Р-11, работало 8 человек вместо 35 при эстакадном намыве; стоимость работ сократилась не менее чем на 10%.

Безэстакадный намыв получил в дальнейшем широкое распространение на стройках. В 1952 г. на Горьковэнергострое при намыве среднезернистых песков был применен безэстакадный торцовый намыв на подкладках или с низких инвентарных опор; работали землесосы 12НЗ, 300-40 и 1000-80.

С 1953 г. торцовый безэстакадный намыв песчаных грунтов применялся на Камгэсстрое и на Новосибирскгэсстрое, а с 1954 г.—на Куйбышевгидрострое и Сталинградгидрострое при намыве мелкозернистых песчаных грунтов земснарядами 500-60 и 1000-80. На Куйбышевгидрострое безэстакадным способом было намыто 95% всех насыпей.

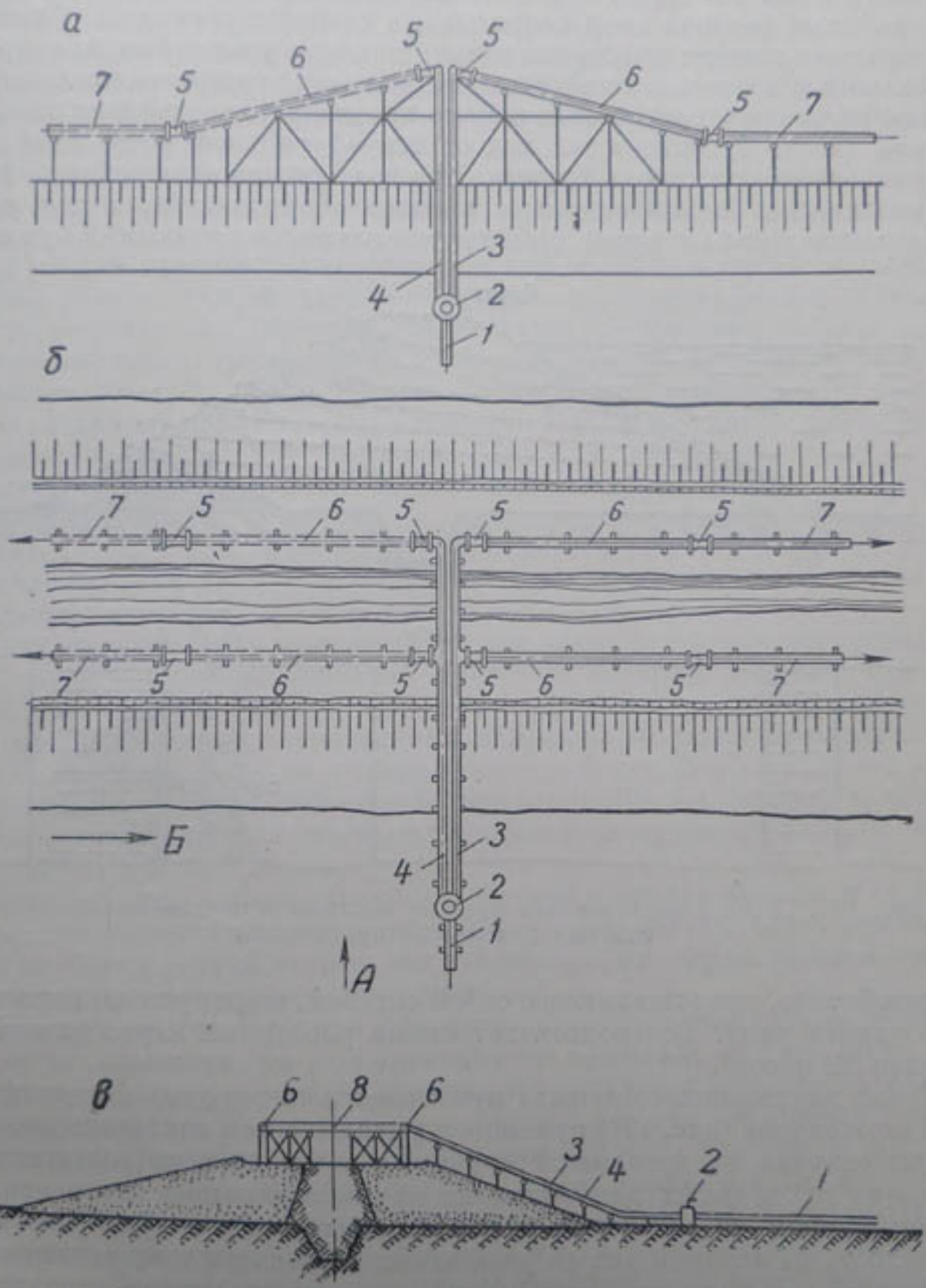


Рис. 170. Подход магистральных пульповодов к карте намыва и их разветвление:

а—вид со стороны относа плотины по стрелке *А*; *б*—план; *в*—вид по стрелке *Б*. *1*—магистральный пульповод; *2*—переключатель; *3* и *4*—пульповод от переключателя к картам намыва; *5*—гибкие шланги; *6*—наклонные трубы; *7*—трубы намыва на карте; *8*—трубы, пересекающие плотину.

Практика доказала, что безэстакадный способ может быть применен при намыве как песчано-гравелистых, так и песчаных грунтов землесосами любой мощности. Так, из подобного рода грунтов намыта в 1958—1959 гг. плотина Можайского гидроузла на реке Москве (объем намыва около 1 млн. $м^3$; снаряды 100-35).

На Горьковгэсстрое, ввиду отсутствия кранов, механизация перекладки труб при безэстакадном намыве производилась специальными установками со сменным оборудованием, созданными самими строителями на базе тракторов ДТ-54 и С-80. Разводящие пульповоды укладывались на инвентарные металлические опоры высотой около 1 *м*. После намыва 2—3 слоев общей толщиной около 1 *м* трубы перекатывали по наклонным лагам на следующую ступень опор, насадки опор снимались, а стойки вынимались. Снятие труб с П-образных инвентарных металлических опор и укладка их на опоры высотой около 1 *м* производилась вилочным захватом, выдергивание стоек—переносным рычажным приспособлением со специальными клещами для захвата головок стоек, бурение ямок под стойки—бурильной установкой с двумя вертикальными шнековыми бурами. При выполнении этих работ на тракторе устанавливалось соответствующее сменное оборудование, а для работ по обвалованию ставился отвал. Для уборки глинистых окатышей применялось

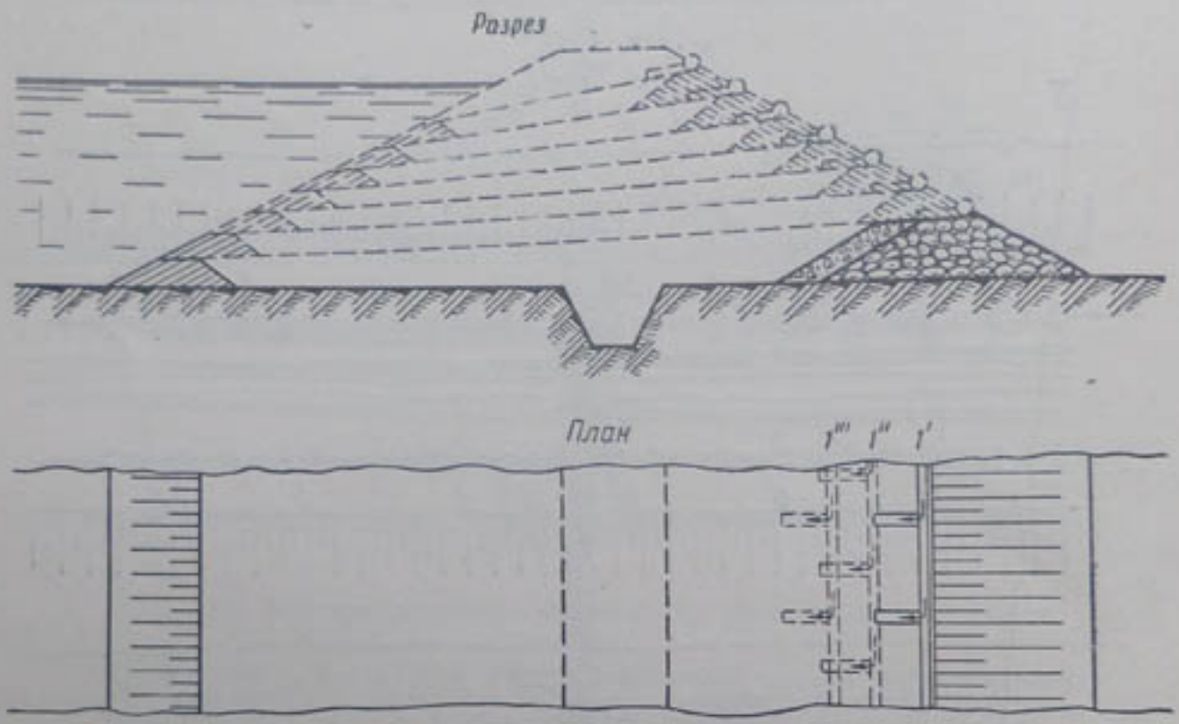


Рис. 171. Схема одностороннего намыва плотины с показанием последовательных положений пульповода.

приспособление, представляющее собой скребок, шарнирно закрепленный на вилообразной раме. Все подготовительные работы на карте длиной 300 *м* занимали 12 часов[1].

Кроме двустороннего намыва применяется также односторонний намыв. В этом случае (рис. 171) пульповод укладывается вдоль низового откоса плотины сначала на дренажной призме, а затем по мере роста намыва по высоте—на продольных дамбочках из крупнозернистого материала. Пульпа, выпускаемая из отверстий пульповода, стекает в направлении к верховому откосу, на котором для ее удержания возводятся удерживающие валики. По пути пульпы наиболее крупные частички грунта откладываются у низового откоса, а наиболее мелкие частички в прудке-отстойнике; таким образом у верхового откоса образуется экран. Если осветленная на намыве пульпа не отстанвается в прудке, а сбрасывается из него транзитом, то экрана не образуется. При небольшом количестве мелкозема в размываемом грунте иногда прудок у верхового откоса может вовсе не устраиваться, и тогда перед намываемой плотиной образуется шлейф из мелких частиц грунта (плотина с намывным понуром). Однако это значительно увеличивает куба-

[1] А. Д. Шаргородский. Механизация подготовительных работ на картах намыва при торцовом низкоопорном намыве. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 4, 1955.

туру; поэтому на постройке перемычек Каховской ГЭС, где сначала применялся односторонний намыв без обвалования в низовой части, в дальнейшем от него отказались и перешли к двустороннему намыву, хотя это и увеличило трудоемкость работ на 15—20%.

Применение одностороннего намыва позволяет возводить гидромеханизированным способом плотину меньшей ширины, чем при двустороннем намыве.

Односторонний намыв применяют также при уширении существующих плотин и дамб. В этом случае магистральный пульповод укладывают по внешнему откосу вновь намываемой части, а пульпа стекает к уширяемой насыпи, где и располагается прудок.

На намыве плотин и дамб Каховского гидроузла, общей длиной 19,5 *км*, из среднезернистых песков, применялся двусторонний и односторонний намывы.

Грунты для намыва. Намывные и полунамывные плотины возводят из различных грунтов—от песчано-гравелистых и песчаных разной крупности до легких суглинков. Например, Мингечаурская плотина намывалась из гравелисто-песчаных грунтов с содержанием гравия диаметром до 80 *мм* в количестве 50—60%; намыв плотины и дамб на Горьковской ГЭС производился из среднезернистых песков, а плотины Куйбышевгидростроя и Сталинградгидростроя—из мелких песков с $d_{ср} = 0{,}11$ *мм*. Цимлянская плотина намывалась из мелкозернистых песков, 55% которых состояло из фракций $d = 0{,}05 \div 0{,}25$ *мм*.

Очень важным при выборе грунтов является состав и количество мельчайших частиц грунта, от чего, например, в земляных плотинах, возводимых двусторонним способом, зависит состав ядра.

Практика возведения намывных плотин знает ряд примеров аварий плотин во время постройки, основной причиной которых являлся чрезмерно быстрый темп их роста в высоту при мелком составе ядра, плохо отдававшего воду и производившего значительные давления на боковые призмы.

По Г. Н. Роеру, ядро не должно занимать более 25—30% объема плотины, причем все частицы диаметром меньше 0,005 *мм* (глина) и частично 0,05—0,005 *мм* (пыль) должны быть сброшены из прудка; в ядре не должно быть частиц крупнее 0,25 *мм*.

Нужно сказать, однако, что состав грунта в прудке зависит и от высоты плотины: для высоких плотин должны быть предъявлены более строгие требования по сбросу мелких частиц, чем для низких, в которых опасность прорыва от гидростатического давления меньше.

С технической точки зрения пригодность грунтов для намыва зависит не только от их характера, но и от организации намыва и, прежде всего, от его интенсивности, размеров прудка и скоростей течения в нем, обеспечивающих сброс мелких частиц. Поэтому расчету прудка должно отводиться серьезное внимание при проектировании организации работ по намыву. В экономическом отношении менее выгодно разрабатывать глины и суглинки, так как значительную часть грунта приходится сбрасывать при намыве. Поэтому вопрос о допустимости тех или иных грунтов карьера для намывных сооружений должен решаться в каждом отдельном случае по совокупности технико-экономических требований (особенно, по уплотнению тела плотины) в увязке с производством работ по намыву.

При выборе карьера для намывной плотины необходимо учитывать обязательность сброса мальчайших частиц грунта при намыве. Действительно, при намыве плотин из глинистых грунтов нужно сбросить только глинистых частиц $< 0{,}005$ *мм* более 30%, при намыве из тяжелых суглинков—18—25% таких частиц, из суглинков—12—18, из супесей—3—12 и из песков—меньше 3%. Фактически процент сброса получается несколько выше за счет частичного сброса пылеватых (0,005—0,05 *мм*) и даже более крупных фракций.

Это обстоятельство удорожает гидромеханизированные работы, так как обычно сброс производится из прудка, т. е. на последнем этапе намыва.

При сбросе мельчайших фракций из верхней части пульповодов в процессе движения пульпы (гидросепарация) может получаться некоторое удешевление работ за счет снижения стоимости последующих элементов цикла гидромеханизированных работ.

При транспорте грунта лотками можно сбрасывать мельчайшие фракции через продольные боковые водосливы, устраиваемые в виде щелей в местах перехода лотков через лога, овраги и пр.

Весьма целесообразно, если это возможно по топографическим условиям, производить сброс мельчайших частиц грунта из лотков через продольные боковые водосливы, уже при транспорте пульпы от забоя к приемному колодцу землесоса, т. е. на первом этапе работ по намыву плотин при гидромониторной разработке. По указанным соображениям следует предпочитать для намыва плотин карьеры из несвязных и непылеватых грунтов.

Обвалование. Для ограждения намываемого пространства устраиваются ограждающие дамбочки высотой от 0,5—0,6 *м* до 1,5 и даже 2—2,5 *м*, шириной по верху 0,6—0,8 *м*. Они делаются из намываемого материала; так как через обваловывающие дамбочки происходит фильтрация, то во избежание прорыва и сползания, их следует делать возможно более плотными. Ручное устройство дамбочек и уход за ними отнимают значительное количество рабочей силы, поэтому производство работ необходимо механизировать.

Для обвалования применяются преимущественно бульдозеры, забирающие грунт с пляжа намыва и подающие его поперечными ходами в обвалование. Однако обвалование бульдозерами нельзя считать удовлетворительным решением, так как ухудшается поверхность намыва в зоне наружных призм, что ведет к снижению плотности намыва; на откосе остается рыхлый слой обвалования, который нужно снимать и уплотнять. Холостые проходы трактора занимают около 40% рабочего времени, а устройство обвалования на узких картах невозможно.

На строительстве Каховского гидроузла при безэстакадном намыве плотин из мелкозернистых песков и устройстве обвалования бульдозерами наблюдалось движение пульпы вдоль обвалования; это приводило иногда к его размыву, приходилось восстанавливать обвалование. Поэтому гидромеханизаторы Каховского гидроузла установили, что при намыве плотин и дамб узких профилей более эффективен эстакадный способ[1].

На Куйбышевгидрострое применялся шнековый обвалователь к трактору С-80 конструкции А. В. Руденко, Д. З. Одокиенко, Е. В. Меницкого. К трактору шарнирно прикрепляется прицепной механизм, состоящий из корпуса со шнеком длиной 1,8 *м* и подрезного ножа длиной 1,3 *м*. Трактор со сменным оборудованием двигается по краю карты; при этом нож обвалователя врезается в грунт на глубину 0,2—0,4 *м*. Разрыхленный грунт подхватывается шнеком, подающим его за пределы корпуса обвалователя. Образуется валик высотой до 0,5 *м*. При необходимости устройства более высокого обвалования агрегат проходит новую, рядом расположенную полосу, и насыпает валик на первой полосе. Третьим проходом второй валик перемещается на первый, образуя совмещенный валик высотой до 0,7—0,8 *м*, шириной по основанию 2 *м*. Удельное давление обвалователя на грунт 0,11 *кг/см*^{2}. При движении трактора на второй скорости (3,6 *км/час*) и отсыпке валика высотой 0,5 *м* производительность агрегата достигает 400—500 *м*^{3}*/час*. Агрегат может работать при узких картах[2] шириной 3,5 *м*. Достоинством шнекового обвалователя является высокая производительность и низкая стоимость работ, но качество работ не выше, чем при устройстве обвалования бульдозером.

---

[1] Г. Д. Курдюмов. Новое в технологии производства земляных работ способом гидромеханизации. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 12, 1955.

[2] А. В. Руденко, Д. З. Одокиенко, Е. В. Меницкий. Шнековый обвалователь при работах гидромеханизации. «Рационализаторские и изобретательские предложения в строительстве». Бюллетень № 115, 1955.

Можно полагать, что наилучшим типом обвалователя явится разработанная Гидромехпроектом многоковшовая машина поперечного черпания на базе траншейного экскаватора ЭТ-251, перемещающаяся по бровке намываемой плотины и забирающая грунт для обвалования с внешних откосов. Эта машина одновременно с обвалованием производит планировку откосов плотины. Производительность машины 127 $м^3/час$; высота дамб обвалования 1,25 $м$.

Прудок-отстойник. Размеры прудка (длина, ширина и глубина)—весьма важные элементы намыва—должны быть подобраны таким образом, чтобы мелкие, подлежащие сбросу частицы не успевали осесть на пути в сбросной колодец.

Это условие может быть выражено формулой:

$$\frac{L}{v_{гор}} < \frac{h}{v_{верт}}, \qquad (93)$$

где L — длина пути, проходимого частицей по прудку до колодца;

h — глубина воды в прудке;

$v_{гор}$ — горизонтальная составляющая скорости;

$v_{верт}$ — скорость осаждения частиц по вертикали — гидравлическая крупность частиц.

Из неравенства (93) можно определить при данных размерах прудка и поступления в него определенного количества пульпы, будут ли выноситься из прудка мелкие частицы заданных размеров. Это будет проверка прудка на обеспеченность сброса заранее установленных мелких фракций. Такую проверку следует вести для наиболее крупных фракций, подлежащих сбросу из прудка, так как соблюдение неравенства (93) для наиболее крупных фракций, подлежащих сбросу, будет гарантировать и сброс более мелких фракций, скорость вертикального осаждения которых значительно меньше, чем более крупных фракций. По аналогичным соображениям проверку следует делать в точках поступления пульпы, наиболее удаленных от колодца.

Ширина прудка должна соответствовать (с некоторым запасом) проектным размерам ядра: длина его $L_{пр}$ должна быть равна длине карты. Скорость в прудке-отстойнике не должна быть больше 0,05—0,1 $м/сек$.

Определив по таблицам скорость вертикального осаждения $v_{верт}$ частиц различных диаметров и задаваясь скоростью движения пульпы в прудке, например $v_{гор} = 0{,}05$ $м/сек$, можно найти длину пути (в $м$), на котором не происходит осаждения мельчайших фракций, подлежащих сбросу. Результаты вычислений приведены в таблице 27.

Таблица 27

Диаметр частиц в мм	Глубина воды в прудке в м		Диаметр частиц в мм	Глубина воды в прудке в м	
	0,5	1,0		0,5	1,0
0,005	625	1250	0,05	6,3	12,5
0,01	156	312	0,10	1,5	3,0
0,02	39	78			

При расчете таблицы 27 условно принято, что сбрасываться в колодец могут частички с глубины, не большей половины глубины прудка.

Зная диаметр частиц, подлежащих сбросу, и задаваясь глубиной прудка, можно определить длину карт намыва, на которую разделяется намываемая плотина. Разделение на карты необходимо также для того, чтобы иметь возможность при намыве одних карт производить вспомогательные работы на других.

Длина карт назначается в несколько сот метров, так как устройство коротких карт ведет к удорожанию работ вследствие необходимости возведения поперечных дамб; кроме того, при коротких картах усложняется намыв. Например, при возведении Оревских дамб на канале имени Москвы длина карт была 600 *м*, на строительстве Мингечаурской ГЭС—1000—1300 *м*, на намыве Цимлянской плотины—от 400 до 800 *м*. П. П. Дьяков[1] рекомендует определять длину карт L по формуле $L=(20\div25)B$, где B—ширина намываемой насыпи по верху, и назначать $B=120\div250$ *м*.

Практика гидромеханизированных работ на Каховском гидроузле показала, что для повышения использования землесосных установок во времени целесообразно иметь на намыве резервные карты для производства подготовительных работ: 2—3 при эстакадном намыве и одну—при безэстакадном.

Из таблицы 27 видно, что частицы диаметром 0,005 *мм* и менее будут выноситься из прудка полностью, частицы диаметром 0,02 *мм*—лишь отчасти, а осаждение частиц диаметром 0,05 *мм* и более обеспечивается лишь на коротких расстояниях.

Неравенство (93) предполагает ламинарное движение жидкости без вертикальных вихрей. При турбулентном движении, когда поток имеет еще и вертикальную составляющую скорости, осаждение частиц происходит медленнее и, следовательно, формула (93) составлена с запасом в отношении гарантии выноса за пределы прудка мелких фракций. Согласно исследованиям М. А. Великанова, при скоростях от 0,1 до 0,3 *м/сек*, скорость падения частиц в потоке примерно на 20% меньше скоростей падения в спокойной воде, а при скоростях движения пульпы в прудке 0,25—0,50 *м/сек* этот процент еще выше. Поэтому фактическая длина пути, на котором не будут осаждаться мелкие частицы, будет больше.

Для сброса из прудка осветленной воды на каждой карте устраиваются по одному, два или три сбросных сооружения. Они обычно устраиваются в виде шахтных колодцев с водосливами (рис. 172, *а*), от которых идут выпускные трубы, отводящие осветленную пульпу за пределы сооружения (рис. 172, *б*). Колодцы делают размером 1,25×1,25 *м* и достаточно надежной конструкции с учетом давления на них намываемого жидкого грунта.

Отводные трубы и колодец необходимо устанавливать на надежное основание, а трубы, кроме того, следует закреплять против всплывания. Чтобы не допустить попадания в колодец щепы, дерева и других плавающих тел, его нужно ограждать плавающими бонами. Во избежание несчастных случаев с людьми колодцы следует ограждать, а в ночное время освещать.

Для понижения уровня воды в прудке сбросной расход увеличивают, для чего на водосливе снимают одну доску; для повышения уровня ставят 1—2 доски.

Колодцы и сбросные устройства нередко выходят из строя, главным образом из-за прорывов и обрушений. Это вызывает простои оборудования, задерживает ход работ и удорожает их. На строительстве Цимлянской плотины и на Сталинградгидрострое применялась новая конструкция сбросных колодцев[2], в которой водосбросная труба из патрубков высотой 1—1,5 *м* введена внутрь колодца (рис. 172, *б*).

При намыве Цимлянской плотины[3] для удаления осветленных вод была устроена сеть водоотводных канав, рассчитанных на расход от 4 до 10 $м^3/сек$, а общий расход сбросных вод достигал очень большой величины—20 $м^3/сек$.

При рациональном расчете гидротранспортной системы (всас—землесос—пульповод) с дополнительной установкой, в случае надобности, гидросепараторов, можно было бы сократить количество сбрасываемой осветленной пульпы и удешевить намыв, повысить при этом устойчивость плотины во время производства работ. Целесообразно было бы, по-видимому, вместо

---

[1] П. П. Дьяков. Гидромеханизация земляных работ на железнодорожном транспорте. Трансжелдориздат, М., 1950.

[2] А. И. Огурцов. Намыв земляных сооружений. Госстройиздат, 1957.

[3] Н. В. Разин. Цимлянский гидроузел. Госэнергоиздат, 1954.

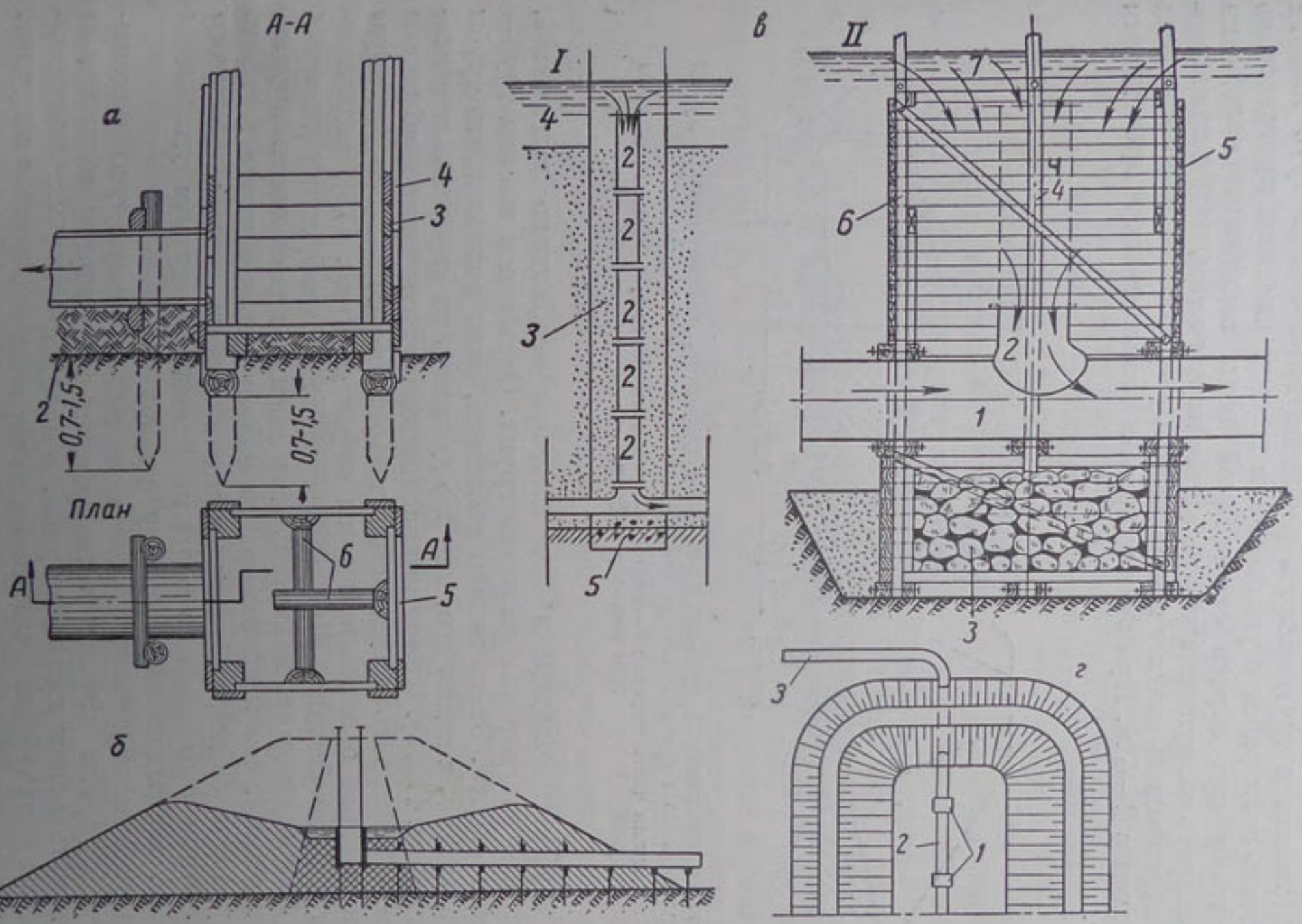


Рис. 172. Отвод осветленной пульпы из прудка:

а—колодец для отвода осветленной в прудке пульпы: *1*—сборная труба; *2*—глиняная набивка; *3*—закладные доски; *4*—направляющая доска; *5*—доски толщиной 5—10 *см*; *6*—распорки. *б*—шахтный колодец с поперечной отводной трубой; *в*—схема сбросного шахтного колодца для намыва высоких плотин с внутренней металлической трубой. *I*—с х е м а: *1*—коллектор; *2*—патрубки (стояки); *3*—колодец; *4*—прудок; *5*—пригрузка камнем; *II*—д е т а л и: *1*—коллектор; *2*—патрубок с фланцем; *3*—пригрузка камнем; *4*—патрубок; *5*—обшивка из досок 2,2 *см*, *6*—каркас колодца из бруса 10×10—15×15 *см*; *7*—прудок. *г*—отвод осветленной пульпы из ряда колодцев в прудке продольным коллектором: *1*—колодцы; *2*—продольный коллектор; *3*—сброс воды из коллектора.

колодцев поставить сифоны с забором воды из переставляемых неглубоких водосливных колодцев. Это должно было бы повысить и коэффициент использования земснарядов во времени, примером чему может служить опыт Сталинградгидростроя, где в весенне-летний период 1956 г. $K_{вр} = 0{,}43 \div 0{,}62$ и даже до 0,74.

В шахтные водосливы вода переливается тонким слоем из верхних слоев, содержащих мелкие, подлежащие сбросу фракции. При этом не возникает завихрений у водозабора, сопровождающихся взмучиванием частиц. К основным недостаткам этих колодцев относятся необходимость периодических ремонтов, дороговизна и трудоемкость работ по извлечению труб или их заделке. Стоимость этих работ с увеличением высоты плотины прогрессивно возрастает; поэтому при сбросе осветленной воды шахтными колодцами необходимо разделять сооружение на отдельные карты с тем, чтобы при намыве одних карт производить выемку и перестановку труб и колодцев в других после намыва слоя в 2—4 *м*. При этих условиях намыв может проводиться без перерывов.

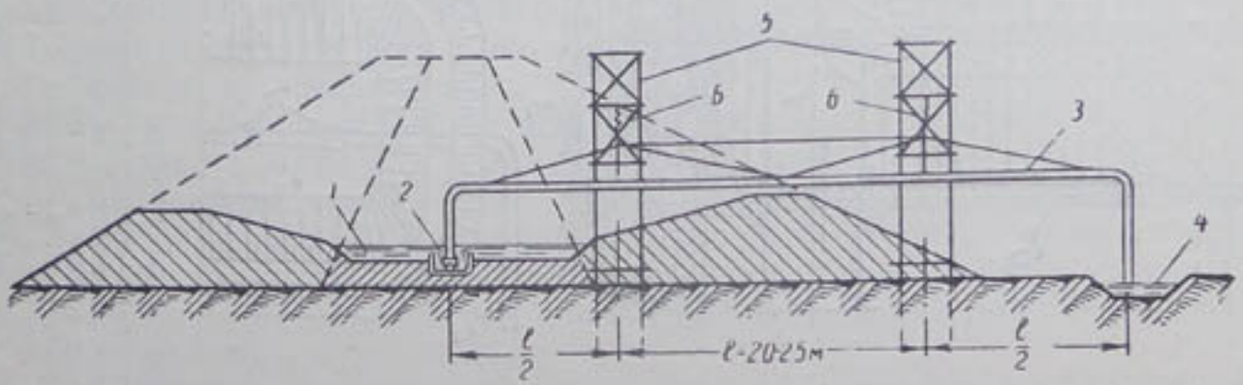


Рис. 173. Отвод осветленной пульпы из прудка сифоном, забирающим воду из неглубокого переставного водосливного шахтного колодца:
1—прудок; *2*—приемная часть сифона; *3*—сифон; *4*—отводная канава; *5*—башни; *6*—тали для подъема сифона.

Сбросные трубы и колодцы в теле плотины необходимо заделывать, нагнетая цементный раствор или намывая грунт. Отрывка и выемка труб—очень трудоемкая работа. Этого можно избежать, если расположить трубы не поперек сооружения, а вдоль его, как это делалось на строительстве плотины на р. Волге (рис. 172, *в*). При таком расположении отводных труб можно их не вынимать, а заиливать и заделывать инъекцией цементного раствора. Применяют также сброс осветленной воды сифонами (рис. 173), подвешенными канатами к двум башням. При этом способе не требуется подземных отводных труб. Недостатком его является забор воды не с поверхности прудка, а с некоторой глубины, что необходимо для недопущения воздуха в сифон. При сифонном отводе создается возмущенность потока вокруг приемного отверстия, вследствие чего вместе с мелкими фракциями грунта удаляются и более крупные, не подлежащие сбросу фракции.

Улучшение работы сифонного сброса может быть достигнуто помещением всасывающей трубы сифона в неглубоком переставном водосливном колодце *2*, устанавливаемом в конце прудка. В колодец будет сливаться тонким слоем пульпа с мельчайшими частицами из верхних горизонтов в прудке, а более крупные частицы будут в нем осаждаться.

Этот способ сброса осветленной воды из прудка сохраняет в себе основное достоинство шахтных колодцев—сброс пульпы из верхних горизонтов в прудке—и не требует выводных труб из колодцев, заделка или выемка которых связана с большими затруднениями и потерей времени.

На некоторых стройках (плотина Форт-Пек в США, Мингечаурская плотина) применялась откачка осветленной воды насосами, установленными в прудке на плавающей барже. Достоинства этого способа состоят в отсутствии подземных трубопроводов и более простой передвижке насосной уста-

новки по сравнению с сифонной. Однако для работы насосов требуется энергия; здесь также неизбежен сброс полезных фракций.

На одной из намывных плотин (Форт-Пек в США) для сброса воды из прудка по откосам плотины устраивались многоступенчатые деревянные перепады, постепенно наращиваемые в процессе намыва. Этот способ требует много леса; трудно достигнуть водонепроницаемости перепадов во избежание размыва откосов. Во втором этапе работ перепады были заменены плавающей в прудке землесосной установкой.

Если плотина по проекту не имеет ни ядра, ни экрана, то вместо прудка-отстойника можно устроить отводной транзитный прудок, скорости течения в котором назначаются значительно более высокими, чем в прудке-отстойнике. Мелкие частицы в этом случае не отлагаются в прудке, а выносятся за пределы возводимого сооружения. Отводной прудок устраивается при небольшом содержании в размываемом грунте мелкозернистых частиц. Поперечные размеры отводного прудка значительно меньше, чем прудка-отстойника, что позволяет намывать плотины меньшей ширины.

Большое влияние на качество возводимой намывной плотины и ее устойчивость в процессе постройки имеет темп намыва. Скорость намыва должна соответствовать гранулометрическому составу ядра и скорости отдачи воды из ядра: наращиваемый за сутки слой ядра должен отдать излишнюю воду в боковые призмы. Несоответствие между влагоотдачей из ядра и темпами намыва ведет к повышению давления со стороны ядра на упорные призмы, что является основной причиной аварий намывных плотин во время постройки. Например, при постройке плотин Некакса, Калаверас и других в США трубка с ядром на конце диаметром 15 *см* вдавливалась шестью рабочими на глубину в 15,5 *м*. Это свидетельствовало о жидком состоянии ядра, вследствие чего на плотинах произошли крупные оползни.

Состояние ядра должно непрерывно контролироваться в процессе намыва и темпы возведения плотин надо сообразовывать с отдачей воды из ядра. В случае жидкого состояния ядра темпы и наращивание плотины должны снижаться или даже намыв временно может приостанавливаться. Надлежащее регулирование состава ядра и темпов возведения плотин—обязательные требования для обеспечения безопасности намывной плотины в процессе ее постройки.

Интенсивность наращивания плотин по высоте должна сообразовываться с характером намываемых грунтов; для гравелисто-песчаных и крупнозернистых песков, хорошо отдающих воду, может допускаться бóльшая интенсивность; для грунтов мелкозернистых она должна приниматься меньшей.

Среднесуточная интенсивность намыва Цимлянской плотины составляла 60—65 *см*, и в отдельные дни доходила до 2 *м*.

Для обеспечения столь высокой интенсивности намыва принимают ряд мер по быстрейшему отводу воды из тела плотины: отсос иглофильтрами или закрытыми дренажами (Цимлянская плотина), откачку из скважин глубинного водоотлива (правобережная перемычка Куйбышевгидростроя).

В лаборатории Укрводгео под руководством А. А. Угинчуса были проведены лабораторные опыты по выяснению возможности ускорения влагоотдачи путем создания вакуума в дренах, уложенных в теле намываемого сооружения из мелкозернистых песков. В дальнейшем эти опыты были продолжены на строительстве защитной дамбы Каховского водохранилища близ г. Марганца. Как лабораторные, так и полевые опыты выяснили возможность вакуумирования намываемого грунта и значительное усиление влагоотдачи по сравнению с влагоотдачей через откос (в 6,5—10 раз большей при лабораторных опытах и в 3,3—4,2 раза большей при полевых). Результаты этих весьма интересных опытов указывают на возможность ускорения консолидации намываемых грунтов и повышения темпов намыва плотин по высоте. Они позволяют, в порядке постановки вопроса, говорить о возможности отказа от шахтных колодцев и сбросных устройств и о переходе на

способы гидросепарации и вакуумирования. Однако для реализации этого предложения должны быть поставлены специальные опыты как в лабораториях, так и на стройках.

Пионерный намыв под воду из конца труб практикуется при постройке земляных перемычек гидроузлов и при перекрытии русла. По мере выхода намытого грунта выше горизонта воды эстакада и пульповод удлиняются и намыв продолжается.

§ 15. СБРОС ОСВЕТЛЕННОЙ ПУЛЬПЫ ИЗ ПРУДКА. ВОДООБОРОТ

Процент грунта, сбрасываемого при намыве из прудка, сильно изменяется в зависимости от количества мелких фракций в карьере; обычно он довольно значителен. На ряде строек средний процент сброса мелких частиц составлял 10—15. По нормам сброс грунта принимается равным 10%.

Для транспортирующей способности потока ϱ в килограммах на 1 $м^3$ Е. А. Замариным, на основе анализа многочисленных исследований в Средней Азии и Закавказье, предложена формула:

$$\varrho = 0{,}022\left(\frac{v}{w}\right)\sqrt{\frac{Riv}{w}}, \tag{94}$$

где v — средняя скорость течения, обеспечивающая транспортирование мутности, в *м/сек*;

R — гидравлический радиус, в *м*;

i — гидравлический уклон поверхности воды;

w — средняя гидравлическая крупность взвешенных наносов, не меньшая 0,002 *м/сек*.

Для более мелких наносов (при $w < 0{,}002$ *м/сек*) формула (94) может быть заменена формулой:

$$\varrho = 11v\sqrt{\frac{Riv}{w}}. \tag{95}$$

Формула (94) определена по исследованиям, при которых ϱ доходило до 6,7 *кг/м³*.

Этой формулой, предназначенной для расчета незаиляющихся каналов, можно пользоваться на практике для определения возможности сброса пульпы в реку или канал без опасения образования отмелей. Для этого требуется соблюдение двух условий: 1) количество сбрасываемых твердых частиц плюс собственные взвешенные наносы водного потока не должны превосходить или могут незначительно превосходить величины ϱ по формулам (94) или (95); 2) необходим равномерный сброс пульпы в поток.

При соблюдении этих двух условий сброс пульпы в реку или канал можно производить без предварительного осветления ее в отстойниках. Весьма интересный пример работы такого рода имел место на постройке Фархадской гидроэлектростанции, где пульпа сбрасывалась в ирригационный канал с расходом около 10 $м^3/сек$, причем за время строительства таким образом было удалено, без отложений в канале, около 1 млн. $м^3$ грунта. Это показывает возможность использования мелиоративных каналов для сброса пульпы при соблюдении условий уравнения (94).

Пример другого рода можно привести из практики постройки намывным способом дамб Шекснинского гидроузла, когда в результате сброса пульпы из прудка в Шексну в последней образовалась отмель, мешавшая судоходству; пришлось прекратить прямой сброс осветленной пульпы в реку и устроить отстойник. В данном случае не было соблюдено второе условие.

Таким образом, вопрос о необходимости отстойника перед сбросом осветленной пульпы в реку, канал и т. п. решается в каждом отдельном случае в зависимости от результатов расчетов и от соблюдения обоих указанных условий. В случае недостатка воды для гидромеханизированных работ и, следовательно, необходимости водооборота устройство отстойника обяза-

тельно; воду из него можно забирать для вторичного использования на размыве насосами. Водооборот можно осуществить также на базе пруда, грунтовых вод и т. п.

§ 16. ОРГАНИЗАЦИЯ ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННЫХ РАБОТ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ

Для успешного и высококачественного производства работ землесосными снарядами зимой необходимо обеспечить выполнение следующих условий[1]:

1) создание и поддержание незамерзающей майны вокруг земснаряда и плавучего пульповода;

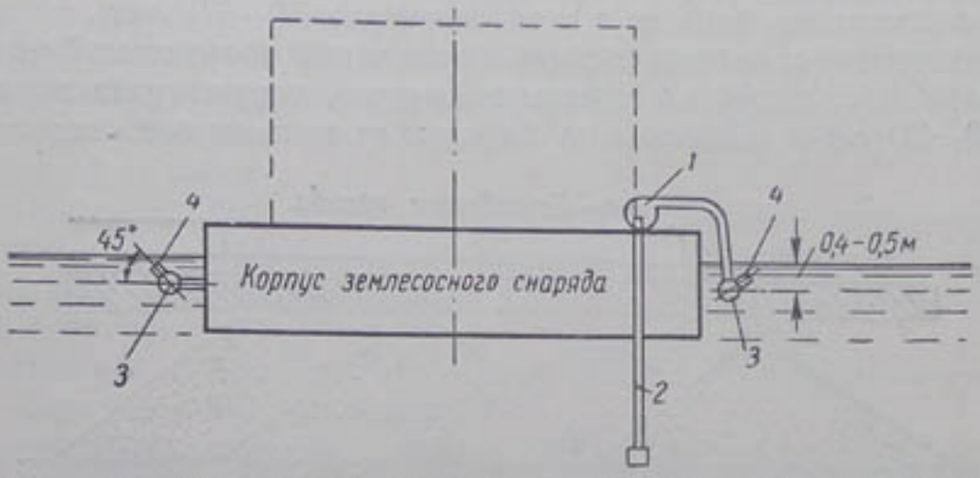


Рис. 174. Поперечный разрез циркуляционной установки с поперечными выпусками:

1—насос; *2*—всасывающий патрубок; *3*—циркуляционные трубы; *4*—выпускные насадки.

2) заблаговременная подготовка к зиме карьеров и оснований намываемых сооружений и недопущение значительного промерзания надводных забоев в карьерах;

3) обеспечение незамерзания пульпы в пульповодах;

4) обеспечение качественной укладки грунта на картах намыва без включения льда и замерзшего грунта;

5) заблаговременная подготовка к зиме снарядов с созданием в корпусах и надстройках положительных температур.

Первоначальную майну в толстом ледяном покрове создают выколкой и удалением льда. Ширина майны не менее пятикратной ширины корпуса земснаряда и понтонов, длина—не менее двух длин корпуса. Выколку толстого льда и его удаление нужно делать при каждой значительной передвижке снаряда.

Выкалывают лед пневматическими молотками и взрывами (при небольших объемах вручную), а удаляют лед из майны автокранами и лебедками. Способ околки и удаления льда с наименьшей затратой труда пока еще не найден, хотя эти работы наиболее трудоемкие.

Для поддержания незамерзающей майны в нее накачивают донную воду с положительной температурой. Вода подается в циркуляционную установку трубы *3* (рис. 174), которой опоясывают корпус снаряда; выпускные насадки *4*, располагаемые через 1—1,5 *м* и направленные вверх под углом 30—45°, опущены под воду на 40—50 *см*. Циркуляционные установки с центробежными или пропеллерными (предпочтительнее) насосами обеспечивают незамерзание майны при морозах до 20—25°, но во время метелей и снегопадов их эффективность резко снижается.

Во время остановок земснаряда работа циркуляционной установки должна продолжаться и должны непрерывно производиться замедленные папильонажные движения земснаряда.

---

[1] А. И. Огурцов. Намыв земляных сооружений. «Из опыта производства земляных работ методом гидромеханизации» ВНИОМС—Госстройиздат, 1954.

Опыт зимней работы на Сталинградгидрострое показал малую эффективность применения циркуляционных насосов для поддержания майны вокруг земснаряда. Основной установкой для этой цели при температуре до 30° мороза была признана отдельная насосная станция с насосом типа 22—24НДС.

Наибольшую сложность в зимних условиях представляет эксплуатация плавучего пульповода. При наличии даже незначительной течи в стыках происходит обледенение понтонов, угрожающее их затоплением. Не всегда имеется возможность подтянуть стык, так как понтоны вмерзают в лед. При намыве правобережной перемычки, ограждавшей котлован на Куйбышевгидрострое, было затоплено 13 понтонов. Для быстрой ликвидации течи багермейстером тов. Цыбаном было предложено применение быстроразъемных бандажей; ликвидация течи при этом занимала 50—70 *мин.*

При подготовке к зиме карьеров и оснований сооружений растительный слой, деревья и кустарники удаляют осенью, территорию вспахивают на глубину 20—30 *см* и обязательно боронуют; применяют снегозадержание.

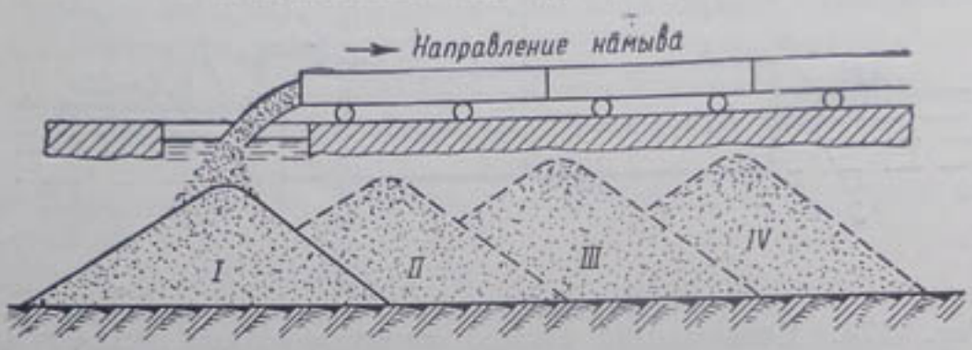


Рис. 175. Намыв под лед.

Целесообразно ледовоздушное утепление горизонтальных участков карьера с разбивкой его на карты площадью до 20 $м^2$ и обвалованием в теплое время на высоту 0,5 *м*. На обвалованной территории забивают колья через 2—2,5 *м* и с возвышением над поверхностью земли на 0,4 *м*. С наступлением морозов обвалованные карты заливают водой, которую спускают после образования корки льда толщиной 10 *см*; лед держится на кольях.

Для зимних работ выбирают высокие забои преимущественно в песчаных грунтах. При промерзании грунта более чем на 30 *см* применяются мелкие взрывы; мелкие замерзшие комья падают в воду и через 4—5 часов оттаивают. Чтобы обеспечить незамерзание пульпы в пульповодах, их прокладывают на низких подкладках, утепляют снегом и намораживают защитную корку льда.

Пульповоды должны быть снабжены аварийными выпусками на случай длительных перерывов в работе. Все соединения в пульповодах должны быть плотными, хорошо пригнанными и не давать течи; последняя может быть причиной аварий и перерывов в работе.

Укладка грунта в тело гидросооружения в зимних условиях является ответственным и сложным процессом, требующим непрерывного внимания. Наилучшее качество работ обеспечивается при укладке грунта под лед в воду; скорость потока погашается на коротком пути и почти весь грунт осаждается вблизи выпуска (рис. 175). При надводном намыве пульпа должна выпускаться на карту непрерывно с максимальной интенсивностью с тем, чтобы грунт успевал освободиться от воды; последняя должна уйти в прудок или сбросную сеть до того как она замерзнет.

Интенсивность намыва должна составлять 25—40 *см* в сутки; для чего длину карты необходимо сокращать до минимума; на одну карту должно работать 2—3 землесоса. Расстояние от разводящего пульповода до кромки прудка не должно превосходить 15—20 *м*, а границы прудка должны быть ровными и не иметь колебаний.

Намыв, как правило, начинают до морозов на непромороженное основание. При необходимости вести намыв на промороженное основание следует

нарезать траншеи или шурфы до талого грунта по сетке 5×5 *м*. Траншеи можно делать мелкими взрывами.

После остановок нужно до начала намыва нарушить мерзлую корку до талого грунта либо штрабами шириной в 1 *м* через 10 *м*, либо шурфами по сетке 5×5 *м*.

Замыв в тело сооружения льда категорически запрещается, равно как и попадание больших его кусков в сбросные колодцы, что может вызвать их закупорку. Сбросные канавы, отводящие осветленную пульпу, необходимо систематически очищать от наледей.

Обвалование следует производить только из талого грунта с обязательным уплотнением и штыкованием для надежного сопряжения с основанием. Мерзлые комья грунта нельзя допускать в обвалование.

При гидромониторной разработке следует применять на размыве напор на 50—60% больше обычного; размыв необходимо выполнять при коротких расстояниях до забоя на узком фронте, а приемный колодец располагать возможно ближе к забою.

Корпус и надстройки землесоса утепляют, водяную передачу давлений на измерительные приборы заменяют на масляную; подшипники вала разрыхлителя снабжают масленками Штауфера (смесь 75% солидола и 25% автола). Водозаборы к насосам утепляют строительным войлоком.

При остановке гидромонитора более чем на 30 *мин* нужно выпускать воду из его корпуса и напорной линии.

Работа гидромеханизации в зимнее время применялась в больших масштабах при строительстве в 1939—1941 гг. верхневолжских гидростанций, где намывались две русловые плотины и замывались пазухи гидротехнических сооружений.

Зимний намыв применялся в 1951—1952 гг. при намыве Цимлянской плотины. Крупные зимние работы выполнялись Куйбышевгидростроем в 1951—1953 гг. при намыве подходов к мосту через р. Сок; намывались также ограждающие котлован гидростанции перемычки и разрабатывалась выемка подходного канала к шлюзу.

Зимой 1955/56 г. на Куйбышевгидрострое намывалась русловая плотина, что было необходимо для пуска весной турбин. Для выполнения этой работы в летний период были образованы резервы грунта с образованием высоких забоев; была обеспечена высокая интенсивность намыва, для чего на карту длиной 350 *м* было поставлено 6—8 землесосов 1000-80 и 500-60. Намыв производился односторонний, без прудка.

В 1952/53 г. зимний намыв применялся на Сталинградгидрострое при возведении ограждающих котлован перемычек.

Большие объемы работ, выполненные в зимнее время гидромеханизированным способом, не дают оснований считать зимний намыв освоенным. Во многих случаях в тело перемычек попадал лед и мерзлый грунт; приходилось иногда намывать на промороженное основание. Замытый лед, намыв на промороженный грунт, как показывает практика, приводят к авариям. Поэтому абсолютно недопустимы отступления от правил зимних намывов.

Производственники часто мотивируют свое снисходительное отношение к этим нетерпимым нарушениям правил зимнего намыва тем, что замытый лед тает и потому не опасен. Это неправильная и вредная точка зрения. Таяние льда, как показал опыт зимнего намыва правобережной перемычки на Куйбышевгидрострое, происходит медленно, годами. При таянии прослоек льда и замороженного грунта под ними образуются пустоты, в результате чего возникают трещины, осадки сооружения и усиленная фильтрация, являющиеся часто причиной аварий.

Для успешного и эффективного проведения зимнего намыва необходимо пересмотреть конструкцию землесосных снарядов, не приспособленных к работе при морозах.

Работы Куйбышевгидростроя показали, что при морозах 15—20° производительность снарядов снижалась на 30%, а при морозах 25—30° на 50%;

выработка рабочих понижалась в $2^1/_2$ раза по сравнению с летним временем. Зимняя эксплуатация земснарядов привела к большим повреждениям их корпусов и плавучих пульповодов, не приспособленных к ледовым воздействиям и нагрузкам. Кроме того, сильный износ снарядов во время зимних работ вызывал необходимость их ремонта, что влекло сокращение на 40—50% числа машино-смен летом.

Круглогодичное производство гидромеханизированных работ имеет ряд крупных достоинств; поэтому необходимо, чтобы промышленность выпускала земснаряды с усиленным корпусом, центральным отоплением и другими устройствами, отвечающими требованиям специфики зимних работ.

§ 17. РАБОТЫ С ЧАСТИЧНЫМ ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ

Полунамывные плотины характеризуются тем, что грунт разрабатывается в карьере сухопутными землеройными снарядами и доставляется в боковые призмы плотин тем или иным видом транспорта. В пространстве между боковыми призмами устраивается прудок-отстойник, наполняемый водой от насосной установки. В прудке либо на понтонах, либо на отмели устанавливают гидромониторы, размывающие боковые призмы; при этом мелкие фракции грунта откладываются в прудке. Отвод осветленной пульпы производится одним из описанных выше способов.

Размыв рашей гидромониторами. Размеры рашей (отвалов после очистки ирригационных каналов) очень велики и достигают 120 $м^3$ на 1 пог. $м$.

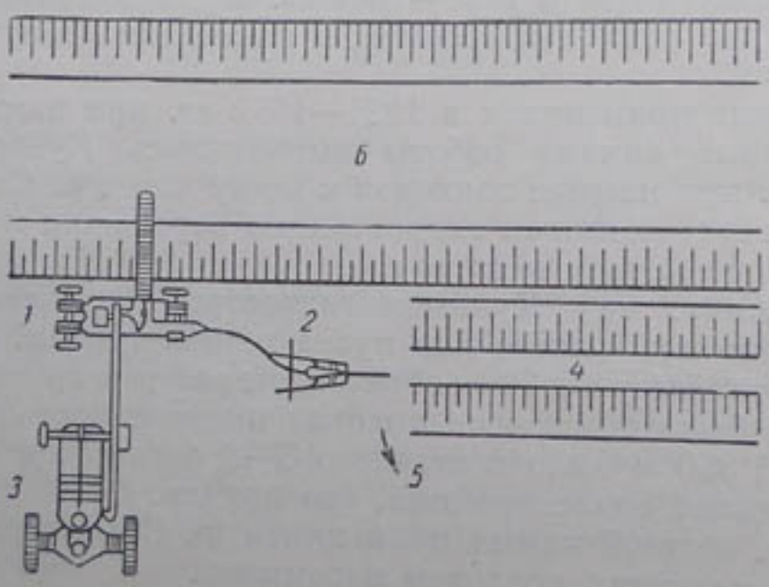


Рис. 176. Гидромониторная установка для размыва рашей:
1—насос; *2*—гидромонитор; *3*—трактор; *4*—отвалы (раши); *5*—направление стока пульпы; *6*—канал.

Они состоят преимущественно из тонкозернистых песков, легко размываемых мониторами. Размыв можно производить передвижной насосно-гидромониторной установкой на базе трактора (рис. 176) с удалением пульпы за пределы канала.

§ 18. ОСОБЫЕ РАБОТЫ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ

Крепление напорных откосов. Интересные работы были проведены в 1952—1953 гг. Грозненским управлением треста «Гидромеханизация» по креплению напорного откоса земляной плотины намывным способом[1].

Был применен рассредоточенный выпуск гравийно-песчаной массы через четыре выпуска и со сбросом мелких фракций на откос плотины через торец

[1] А. Ф. Сморканов. Крепление откосов земляных сооружений намывным способом. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 5, 1954.

пульповода. При первом выпуске на подготовленный песчаный откос укладывался мелкий гравий, затем средней крупности и, наконец, крупный гравий, преимущественно булыжник весом 0,5 *кг*. Заложение намытого крепления откоса 1 : 6.

Намыв откосов. Сложным и трудоемким процессом при намыве является образование надводного и особенно подводного откосов. На строительстве

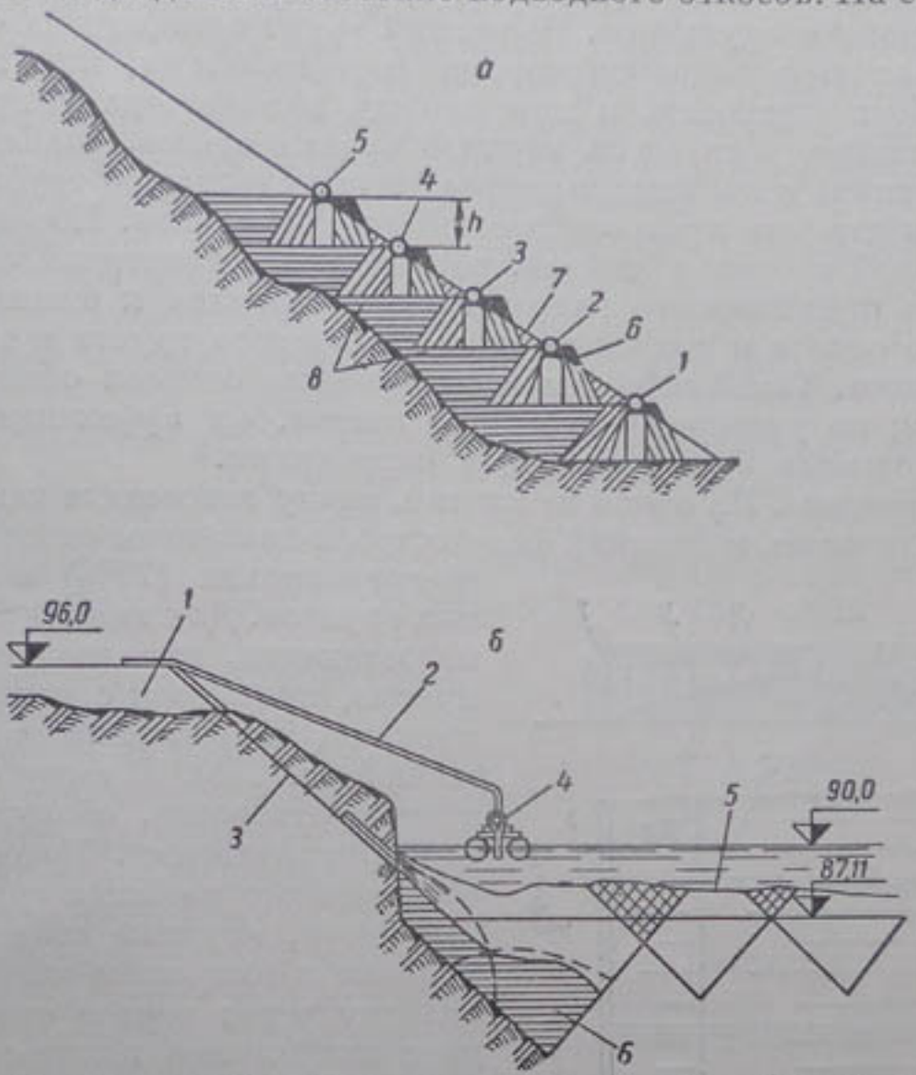


Рис. 177. Профилирование откосов методом гидромеханизации:

а—надводных: *1*, *2*, *3*, *4*, *5*—последовательные положения разводящего пульповода; *6*—гребни; *7*—бермы; *8*—замытая пазуха. *б*—подводных: *1*—намывная площадь; *2*—водовод; *3*—проектный откос; *4*—насос на поплавке; *5*—первоначальное дно; *6*—траншея.

Цимлянской гидростанции объем перемывов и недомывов на откосах насыпей составлял 6% от объема последних. Планировка откосов вручную трудоемка и дорога.

Опыт работ в Киеве, где при намыве прибрежных территорий около 400 тыс. $м^3$ профилировочных работ было выполнено гидромеханическим способом, показывает возможность эффективного применения гидромеханизации для создания проектных откосов[1].

Схема работ по созданию надводного откоса показана на рисунке 177, *а*. Намыв производился ступенями и начинался снизу. Вдоль откоса на эстакаде прокладывается разводящий пульповод с выпусками в нижней его части диаметром 70—100 *мм*. Неиспользованная пульпа сбрасывается из торца пульповода. Высота ступеней h не должна превосходить 2 *м*. Планировка ступеней (срезка гребней и засыпка берм) осуществлялась периодическим пропуском чистой воды через выпуски пульповода, что обеспечивало смыв гребней и укладку смытого песка в бермы. Заложение намытых откосов изменялось от 1 : 2,5 до 1 : 7; стоимость удорожания работ, по сравне-

[1] Ю. В. Демиховский. Образование откосов и наклонных площадок способом гидромеханизации. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 10, 1952.

нию с обычным намывом, составляла 56 коп. за 1 $м^3$. Для замыва откосов лучше использовать небольшие землесосы 8НЗ, 10НЗ и пульповод диаметром не более 300—350 *м*. Откос следует намывать одновременно с основным намывом.

Для образования подводной части откоса землесосный снаряд сначала отрывает траншею (рис. 177, *б*) у подошвы откоса, параллельную профилируемому сооружению. Излишний грунт с надводных откосов перемещают в траншею гидромониторами или взрывами, или механическим способом. Можно работать и при помощи водопровода диаметром 100—125 *мм*, укладываемого вдоль верхней бровки откоса, снабженного через 10 *м* тройниками; к последним присоединяют отводящие трубки диаметром 25—50 *мм*, к которым присоединяют резиновые шланги. Последние оканчиваются трубкой с соплом длиной, равной длине подводной линии откоса. Работа этого примитивного гидромонитора сводится к смыванию грунтов с надводного откоса и подталкиванию смываемого грунта в траншею и во впадины откоса. Такой способ профилирования откосов обеспечивает точность ± 15 *см*; по утверждению автора статьи, он эффективнее и дешевле планировки откосов бульдозерами и скреперами.

Намыв дренажа. На одной из плотин, ввиду недостатка камня для горизонтального дренажа, последний был построен намывным способом из песчано-гравелистых (70%) и мелкозернистых грунтов. Для намыва был проложен на эстакадах, параллельно дренажной призме, пульповод с поперечными выпусками, направленными в сторону намыва (рис. 178). В выпусках устроены донные отверстия, оборудованные секторными затворами. Поток гидромассы больше всего насыщен грунтом в нижней части, крупные составляющие находятся в состоянии влечения по дну; поэтому через первое отверстие выпадает наибольшее количество грунта с преимущественным содержанием крупных частиц, из второго меньшее количество грунта с меньшим содержанием крупных частиц и т. д. Из торца вытекает пульпа с минимальным содержанием грунта, состоящего из мелких частиц. Применение описанной принудительной гидравлической классификации позволило намыть дренажную призму надлежащего качества. Объем намытого дренажа возрос по сравнению с объемом насыпного дренажа; однако часть намыва заменяет соответствующий объем тела плотины. С учетом этого обстоятельства намыв дренажа оказался значительно дешевле, чем его отсыпка[1]. Указанным приемом можно отсыпать обратный фильтр после перекрытия русла каменным банкетом.

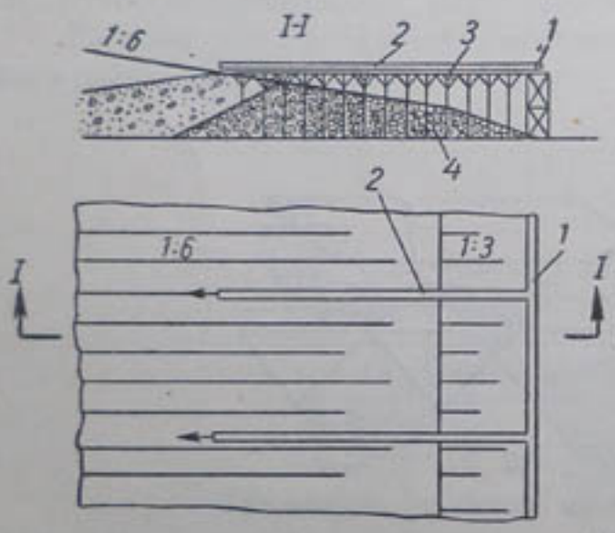


Рис. 178. Намыв дренажной призмы:
1—магистральный пульповод на эстакаде; *2*—поперечные выпуски на эстакадах; *3*—донные отверстия; *4*—дренажная призма.

Гидромеханизация нашла применение на работах по **продавливанию трубопроводов.** С помощью специальной ножевой секции грунт размывается водой, поступающей из насадков под давлением 10—15 *атм*, и убирается гидроэлеватором. Подача воды и транспортирование пульпы осуществляются по трубам, укладываемым внутри продавливаемого трубопровода.

На кессонных работах внедряются гидромеханизированные управляемые извне установки[2]. Это избавляет от работы людей в кессонах.

---

[1] Б. А. Волнин. Устройство дренажа намывным способом. «Гидротехническое строительство» № 5, 1956.

[2] Н. М. Арнольд, Е. Г. Кунаков. Гидромеханизация на стройках Министерства строительства СССР. «Новая техника и передовой опыт в строительстве № 7, 1956.

§ 19. КОНТРОЛЬНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПОСТРОЙКЕ НАМЫВНЫХ ПЛОТИН

Для получения густой консистенции пульпы и высококачественных намывных сооружений следует непрерывно вести наблюдения за ходом работ по циклам.

Наблюдения дают характеристики отдельных элементов работ и позволяют принять необходимые меры для устранения замеченных дефектов. Без контрольно-исследовательских работ правильное техническое руководство гидромеханизированными работами не может быть осуществлено.

Контрольно-исследовательские работы выполняются полевой грунтовой лабораторией, расположенной вблизи места работ.

Необходимо определять консистенцию пульпы на размыве, в приемном колодце, в пульповодах и на намыве в целях достижения максимальной консистенции на размыве и сохранения ее до места намыва. В пульповодах должны быть установлены контрольные точки для измерения потерь напора, скоростей и отложений наносов.

Периодически следует изучать режим работы землесосов (расход, напор, мощность, к. п. д., расход энергии); эти исследования выявляют режим работы землесосов и соответствие его оптимальному.

На намыве надо изучать распределение фракций в поперечном сечении плотины и уплотнение. Серьезное внимание должно уделяться прудку-отстойнику.

Надо систематически наблюдать за скоростями течения в прудке, а также за тем, чтобы он имел должное очертание и размеры в плане. Необходимо наблюдать за регулировкой горизонта воды в прудке, чтобы из него выносились лишь наносы мелких фракций и не сбрасывались более крупные фракции (размер фракций устанавливается проектом).

Нужно исследовать консистенцию и гранулометрический состав сбрасываемой пульпы, периодически брать пробы грунтов из ядра, определять их гранулометрический состав и влагоотдачу; по результатам этих исследований надо регулировать темп намыва плотины. Желательно в ядре закладывать приборы для изучения горизонтальных и вертикальных давлений на разных высотах, а также устанавливать репера для изучения осадок намываемой плотины.

Нужно следить за недопущением в плотину щепы, остатков дерева, за тем, чтобы переносные щитки не были замыты.

Для качественного и быстрого выявления состава ядра полезно применять шест с шаром, который можно в процессе работ протарировать.

Необходимо также изучать коэффициент использования во времени $K_{вр}$ землесосной установки, мониторов, насосной станции, пульповодов, выявлять причины простоев, принимать меры по их устранению.

§ 20. РАЗРАБОТКА ВЫЕМОК

Гидромеханизацией можно разрабатывать выемки и котлованы сооружений. Начало этого рода работ было положено на строительстве канала имени Москвы (1934—1937 гг.); в последнее время размыв котлованов применялся на строительстве многих крупных гидроузлов.

Выемки можно разрабатывать землесосно-мониторными установками, плавающими в канале и отделенными от забоя перемычками. Минимальная ширина выемки определяется шириной плашкоута—около 5 *м*. При такой разработке плашкоутную канаву нужно делать ниже дна выемки для того, чтобы не иметь крупных недоборов. Соответственно этому должно проектироваться сечение разрабатываемого канала.

При разработке выемок ниже горизонта грунтовых вод можно применять плавающие землесосные установки с механическим подводным разрыхлением

грунта. При подводной разработке минимальная ширина выемки определяется шириной плашкоута.

Однако минимальные размеры разрабатываемых гидромеханическим способом выемок должны рассматриваться также и с экономической точки зрения с учетом подготовительных работ и передвижек землесосных снарядов, частота которых возрастает с уменьшением удельного объема выемки.

§ 21. ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ НА ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ РАБОТАХ

Гидромеханизация широко применяется для сооружения земляных плотин и дамб, ширина которых позволяет устроить прудок.

Разработка гидромеханическим способом широких выемок вполне оправдана практикой. Следует отметить, что в некоторых случаях с достаточным технико-экономическим успехом применялась гидромониторная разработка для удаления недоборов по дну котлованов высотой 0,5—1,5 *м* (Каховский гидроузел).

Гидромеханизацией можно разрабатывать магистральные каналы мелиоративных систем, водосборные коллекторы достаточной ширины, подводящие и отводящие каналы к гидроузлам и гидростанциям, котлованы плотин и пр.

Практика показала возможность и выгодность разработки выемок в хорошо разложившихся беспнистых торфах. В пнистых болотах пни удаляют краном. При разработке торфяных выемок должны быть предусмотрены меры против поступления в торфососы очесов из волокнистого торфа.

Подводную очистку водоприемников можно вести плавающими установками с разрыхлителями.

Весьма широкое применение находит гидромеханизация при очистке оросительных каналов. Широкое распространение должен найти смыв рашей гидромониторами от передвижной гидромониторной установки.

§ 22. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

К числу основных технико-экономических показателей гидромеханизированных работ относятся: консистенция пульпы—$К$, производительность землесосов по грунтам $П_{гр}$, коэффициент использования землесосов во времени $К_{вр}$, удельная затрата энергии $Э_{уд}$, выработка на одного рабочего в смену.

Оптимальная производительность землесосов по пульпе, как было показано ранее, не совпадает с максимальной производительностью по грунту; она изменяется к тому же в значительных пределах в зависимости от сопротивлений в системе и не является характерной.

Как было уже показано в § 3, между фактической консистенцией на ряде строек (порядка 1 : 10 ÷ 1 : 12) и возможной консистенцией 1 : 3—1 : 4—1 : 5, уже устойчиво достигнутой на ряде передовых строек, имеется огромный разрыв. К сожалению, не все производственники борются за повышение консистенции пульпы и знают, при какой консистенции работают их установки; не указывается обычно консистенция пульпы и в литературных работах. Этот серьезный недостаток гидромеханизированных работ должен быть ликвидирован, и на борьбу за густую консистенцию должны быть направлены усилия производственников. Чтобы бороться за густую консистенцию, нужно прежде всего знать ее. Для этого должны применяться консистомеры.

Советскими специалистами разработаны консистомеры, основанные на различных принципах: 1) на принципе осадок плавучего понтона—консистомер И-7 конструкции Н. А. Иванова испытан в производственных условиях и применяется для земснарядов, работающих с плавучими пульповодами;

2) на принципе прогиба участка напорной линии; 3) на перепаде давления на вертикальном участке напорного пульповода (консистомер П. П. Дьякова); 4) на перепаде давления на горизонтальном участке пульповода; 5) на законе поглощения и рассеяния гамма-лучей в веществе (конструкции проф. С. В. Стародубцева, инж. Н. Г. Кардаш). В качестве источника излучения для труб диаметром 500—700 и 800—900 *мм* использован кобальт 60. Измеряемое ослабление гамма-лучей зависит от плотности пульпы. Датчик представляет собой обычный гамма-счетчик, соединенный с интегрирующей радиосхемой. Он помещается на пульповоде вместе с источником гамма-лучей и дает сведения о средней плотности пульпы вдоль прямой, соединяющей источник и датчик. Для пульповодов диаметром 800 *мм* прибор снабжен устройством для записи консистенции пульпы за смену. Точность прибора 2%.

ВНИИГСом разработаны и испытаны счетчик рабочего времени, интегратор-счетчик прошедшего через землесос грунта И-10, устройства по защите манометров и вакуумметров от гидравлических ударов.

На строительстве Цимлянской плотины $K_{вр}$ изменялся от 0,39 до 0,55; простои по неисправности машин составляли 20% всех простоев, производственные простои—10%, простои по организационным причинам—25%. $K_{вр}$ на установках Куйбышевгидростоя, по данным, сообщенным на конференции в феврале 1955 г., был 0,33 в 1953 г. и 0,35 в 1954 г.

Строители Каховской гидростанции рекомендуют для повышения $K_{вр}$ иметь на намыве 2—3 запасные карты при эстакадном намыве и одну при безэстакадном.

Стоимость 1 $м^3$ гидромеханизированных работ, выполненных трестом Гидромеханизация, указана ниже[1]:

	1949 г.	1951 г.	1954 г.
Стоимость 1 $м^3$ в профильном исчислении в руб.	7,23	6,53	5,52

На строительстве Цимлянской плотины себестоимость 1 $м^3$ намытого в плотину грунта определилась в 5,43 руб.—для земснарядов 500-60 и 4,85 руб.—для снарядов 300-40, без затрат на строительство эстакад и укладку труб. Стоимость подсобно-вспомогательных работ, включая постройку эстакад, монтаж пульповодов и устройство водоотводов, составила 2,25 руб. на 1 $м^3$ рабочей кубатуры.

Выработка на одного рабочего на Цимлянской плотине с учетом расхода рабочей силы на устройство эстакад, монтаж пульповодов, их переукладку и перемонтаж, обвалование и все вспомогательные работы составила 35—40 $м^3$ в смену.

Сведения о выработке одного рабочего (в $м^3$), по данным С. Б. Фогельсона, на работах треста Гидромеханизация приведены в таблице 28.

Таблица 28

Показатели	Годы			
	1949	1950	1953	1954
Выработка одного рабочего на строительно-монтажных работах по гидромеханизации	21,9	29,4	36,5	50,5
То же, с учетом вспомогательных работ неосновного производства (механические мастерские, транспорт, капитальный ремонт, зимний отстой)	17,7	23,3	—	30,9

[1] С. Б. Фогельсон. Развитие гидромеханизации земляных работ в гидромеханическом строительстве. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 4, 1955.

Удельная затрата энергии $Э_{уд}$ на строительстве Цимлянской плотины с учетом станций перекачки изменялась от 3,7 до 8,5 *квт·ч/м*³ для снарядов 300-40 и от 5,4 до 7,5 *квт·ч/м*³ для снарядов 500-60; в период работы земснаряда без перекачек $Э_{уд}$ изменилось от 2,3 до 3,2 *квт·ч/м*³ для снаряда 300-40. На Куйбышевгидрострое в 1954 г. $Э_{уд} = 4{,}5$ *квт·ч/м*³.

На строительстве канала имени Москвы[1], когда гидромеханизация в нашей стране делала только первые свои шаги, были достигнуты высокие показатели: $К_{вр}$ на намыве плотин 0,43—0,53; удельная выработка на одного рабочего 11,2—13,7 *м*³.

Сравнивая эти данные с аналогичными показателями современных строек и учитывая при этом сильно возросшую мощность землесосных снарядов и новые методы намыва, можно прийти к выводу о наличии больших внутренних резервов на гидромеханизированных работах, которые следует направить прежде всего на повышение $К_{вр}$ и $К$.

Высокие значения $К_{вр}$ и $К$ могут быть получены при обязательном соблюдении следующих условий.

1. Предварительное определение оптимального режима системы землесос—пульповод по описанному выше методу с выбором наивыгоднейшего для данных условий диаметра пульповодов.

2. Рационализация всаса с целью обеспечения засасывания пульпы густой консистенции.

3. Введение автоматического управления земснарядами с целью поддержания постоянного режима их работы на заданной консистенции и повышения производительности всей установки.

4. Постоянное наблюдение за величиной полезного использования землесосных установок во времени и проведение мероприятий для повышения $К_{вр}$ (в ежедневных рапортичках следует отмечать причины простоев, должны немедленно приниматься меры для ликвидации простоев).

5. Применение консистомеров с целью поддержания наиболее высокой консистенции пульпы.

6. Рациональная организация работ, т. е. подготовка забоев, перекладка пульповодов, правильное обвалование и регулирование прудка при безэстакадном намыве и другие меры, направленные на повышение производительности труда.

Особенно важным вопросом является пересмотр конструкций землесосов и их частей, в частности рыхлителей, с целью повышения их производительности и уменьшения веса снарядов.

Глава XI

ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ

§ 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВЗРЫВЕ И ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВАХ

Взрыв можно характеризовать как чрезвычайно быстрое химическое превращение вещества, сопровождающееся выделением большого количества тепла (энергии) и образованием сильно нагретых газов, производящих работу вследствие резкого повышения давления в месте их образования.

Взрывчатыми веществами (ВВ) называются такие химические системы, которые под влиянием определенного импульса могут со значительной скоростью переходить в другие системы с образованием газов и с выделением тепла, нагревающего газы до высокой температуры, что вызывает развитие чрезвычайно высокого давления в месте расположения ВВ.

Импульсами, дающими начальную энергию для взрыва, могут быть: тепловая энергия (пламя или накаленное тело); механическая энергия

[1] Канал Москва-Волга. Гидромеханизация. Госстройиздат, М.—Л. 1940.

(трение или удар); толчок взрывной волны от взрыва в непосредственном соприкосновении с ВВ; ударная волна, распространяющаяся со значительными скоростями в несколько тысяч метров в секунду в воздухе, воде или земле, отделяющими заряд ВВ от возбудителя (взрыв через влияние).

Различают два рода взрывов: детонацию, или взрыв первого рода; взрывное горение, или взрыв второго рода; может происходить также дефлаграция, т. е. выгорание взрывчатого вещества при повышенном давлении, но без механической работы.

При взрыве первого рода, происходящем со скоростями взрывного разложения от 2000 до 8500 *м/сек*, мгновенно образуются газы и развивается огромное давление в виде резкого и кратковременного удара, в результате чего горная порода сильно дробится без значительного ее разбрасывания. Взрывчатые вещества, оказывающие на среду дробящее действие, называются дробящими, или бризантными (ДВВ). Детонация ВВ вызывается сильным воздействием в виде взрыва капсюля-детонатора, при котором происходит разложение ВВ с максимально большой скоростью.

При взрыве второго рода, происходящем при скорости взрывного разложения от 400 до 2000 *м/сек*, образование газов и нарастание давлений происходит медленнее; ВВ разбивают породу на крупные куски, отбрасываемые на сравнительно большие расстояния. Вещества, оказывающие такое действие на среду, называются метательными (МВВ).

Дефлаграция (выгорание) происходит при очень медленном разложении ВВ; поэтому давления газов, необходимые для разрушения и раздробления породы, не возникают. Дефлаграция сопровождается образованием значительно большего количества ядовитых газов, чем при взрывах первого и второго рода. Причиной дефлаграции обычно бывает плохое качество ВВ или применение недостаточно сильного для данного ВВ капсюля-детонатора.

Классификация взрывчатых веществ. Характер и сила действия ВВ определяются давлением газов при взрыве, зависящим от удельного объема газов (на 1 *кг* ВВ), их температуры, теплоты взрыва, скорости взрывного разложения и диаметра патрона.

Основными показателями ВВ, характеризующими их действие на взрываемую породу, являются бризантность и работоспособность

Бризантность ВВ (рис. 179, *а*) определяют по разнице высот (в *мм*) свинцового цилиндра *2*, поставленного на стальной доске *1*, до и после взрыва бумажного патрона *4*, в котором помещают 50 *г* испытуемого ВВ. Работоспособность ВВ определяют по приращению объема зарядной камеры в свинцовом цилиндре после взрыва (рис. 179, б), она выражается в куб. сантиметрах. Работоспособность и бризантность зависят от плотности ВВ.

По условиям применения ВВ разделяют на три группы: 1) допускаемые в подземных работах, опасных по пыли и газу, предохранительные (антигризутные); 2) разрешаемые в подземных работах, где пыль и газ отсутствуют; 3) применяемые только при открытых работах. Вещества последней группы должны удовлетворять требованиям безопасного обращения и хранения; количество ядовитых веществ в них может быть значительно большим, чем для второй и первой групп.

По структурному признаку ВВ принято делить на две группы: взрывчатые механические соединения (дымный порох, динамиты, аммониты, динамоны и др.) и взрывчатые химические соединения (тротил, нитроглицерин, гремучая ртуть и др.).

По характеру действия все ВВ условно делят на две основные группы: метательные и дробящие (бризантные). К метательным относят ВВ, имеющие сравнительно невысокую скорость взрывчатого разложения с постепенным нарастанием давления, вследствие чего крупные куски породы отрываются и отбрасываются на значительные расстояния (дымный порох). Бризантные ВВ способны к детонации и разлагаются со сверхзвуковыми скоростями. Они превращаются в газы мгновенно с образованием резкого и высокого

давления, сильно дробящего породу, но не разбрасывающего ее на большие расстояния (аммониты, динамиты и пр.).

По составу и свойствам ВВ могут быть разделены на четыре группы: аммиачно-селитренные, нитроглицериновые, нитропроизводные ароматического ряда (тротил, динитронафталин), оксиликвиты.

Динамитами называются взрывчатые вещества, в состав которых входит нитроглицерин, а также коллоидный хлопок, селитра и древесная

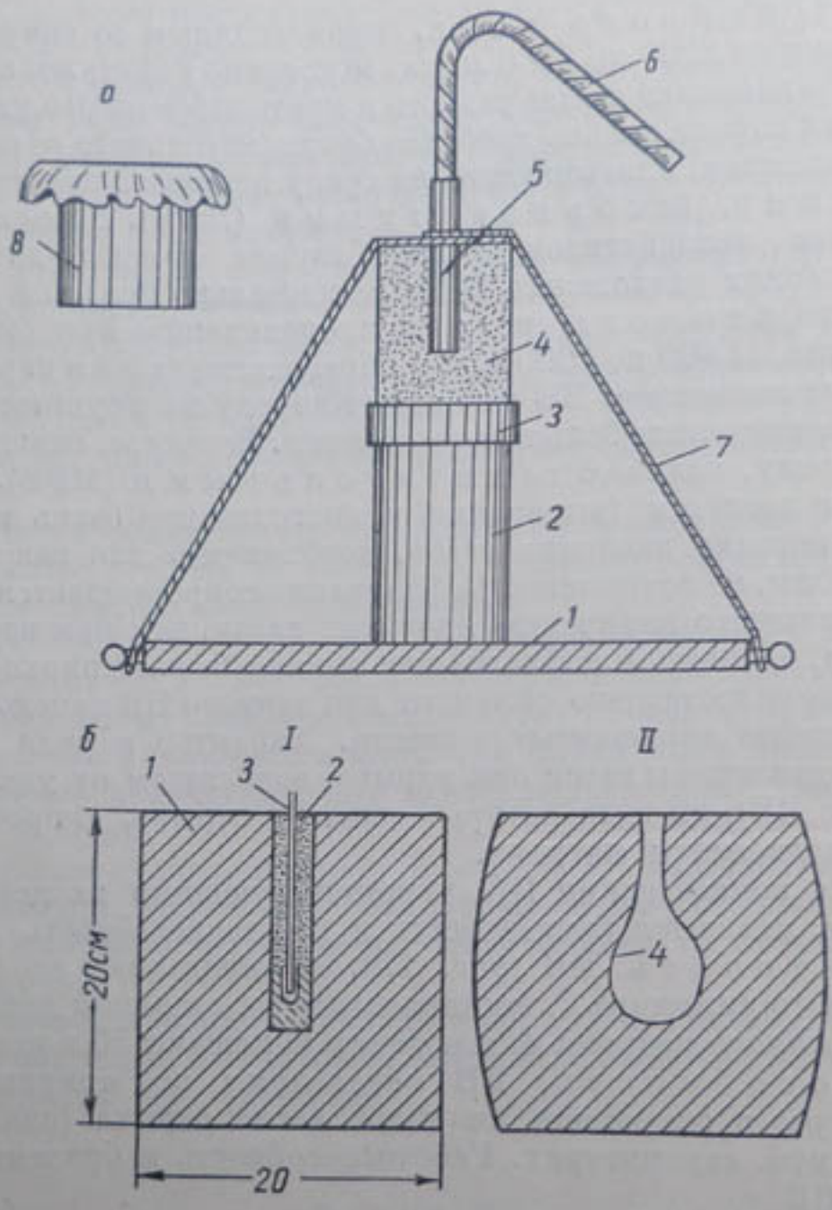


Рис. 179. Испытания ВВ:

а—на бризантность: *1*—стальная доска; *2*—свинцовый цилиндр; *3*—стальной диск; *4*—бумажная гильза с ВВ; *5*—капсюль-детонатор; *6*—бикфордов шнур; *7*—бечевка; *8*—цилиндрик после взрыва. *б*—на работоспособность: *I*—бомба до испытания; *1*—свинцовый цилиндр; *2*—зарядная камера с испытуемым ВВ; *3*—гремуче-ртутно-тетриловый капсюль; *II*—бомба после испытания; *4*—очертания зарядной камеры после испытания.

мука. Свойства динамитов в сильной степени зависят от содержания нитроглицерина; последний представляет собой бесцветную, прозрачную, маслянистую, жгуче-сладкую жидкость без запаха.

К достоинствам динамитов относятся сильные дробящие свойства, отсутствие ядовитых газов при разложении, взрывание без особых покрытий под водой и во влажной среде.

Недостатки динамитов состоят в следующем: они опасны в обращении вследствие высокой чувствительности к механическим воздействиям; динамит замерзает уже при температуре +10° С; в замерзшем и полузамерзшем состояниях динамит особо опасен, так как он взрывается в этих случаях от

легкого толчка и трения; динамит обладает ядовитостью, вызывающей сильные головные боли при продолжительном обращении с ним и отрицательно действующей на слизистую оболочку глаз и носа; способность динамита к старению (гарантийный срок 6—8 месяцев).

В настоящее время на разработке особо крепких пород при наличии большой водообильности допускается применение только следующих сортов динамита: 62-процентного и трудно замерзающих 62-процентного и 35-процентного.

Скорость детонации разных сортов динамита 3820—6600 *м/сек*; объем газов 580—634 *л/кг*; температура взрыва 3410—4040°; работоспособность 340—400 *см*^{3}; бризантность 13—15 *мм*.

62-процентный динамит представляет собой желатинообразную (вследствие добавки коллоидного хлопка), тягучую, вязкую, жирную на ощупь, более или менее прозрачную массу цвета от светлого до желтовато-бурого.

Трудно замерзающие динамиты (62- и 35-процентные) имеют в своем составе нитрогликоль, замерзающий при температуре —22° С. В результате добавки нитрогликоля температура замерзания этих сортов динамита около —20°.

Запрещается резать и разминать динамит, снимать с него оболочку, а также применять его для взрывания в замерзшем или полузамерзшем состоянии.

Запрещается применять «эксудирующий» динамит, который после продолжительного хранения или оттаивания выделяет на поверхности патрона нитроглицерин и нитрогликоль; такие динамиты очень опасны.

Динамиты приготовляют в виде патронов из парафинированной бумаги весом 100—200 *г*.

Антигризутные динамиты (12- и 29-процентные) имеют меньшую работоспособность, чем 62-процентные, и в отличие от последних способны поглощать влагу.

Аммониты (ПВВ-промежуточные ВВ) представляют собой механическую смесь аммиачной селитры (79—87%) и нитропроизводных бензола (тротил, ксилил). Часто в их состав входит некоторое количество древесной муки, муки сосновой коры, хлопкового жмыха. Аммониты имеют вид мелкокристаллического порошка от светло-желтого до грязно-серого цвета; если их подвергают для увеличения работоспособности дополнительной обработке и зернению, то они называются зерненым и. Аммониты, в состав которых входит алюминиевый порошок, называются аммоналами; их бризантное действие больше, чем аммонитов. Аммониты обладают хорошим метательным и более слабым дробящим действием. Скорость детонации различных сортов аммонита 2850—5100 *м/сек*, объем газов 860—920 *л/кг*, температура взрыва 1800—2660°, работоспособность 280—360 *см*^{3}, бризантность 10—17 *мм*[1].

Аммониты безопасны в обращении, так как ни от огня, ни от удара, ни от трения они не воспламеняются; к морозу они не чувствительны. Главный их недостаток состоит в способности впитывать влагу и слеживаться; влажность аммонитов на открытых работах должна быть не выше 0,5%. Для взрыва аммонита требуется сильный инициатор (капсюль-детонатор № 8). Аммониты применяются в порошкообразном и в патронированном виде. Вследствие дешевизны и безопасности аммониты на открытых работах имеют наибольшее распространение. На стройках, где взрывные работы ведутся в больших масштабах и для различных целей, применяются только аммониты.

Для массовых взрывов широко применяют аммиачную селитру, обычно в соединении с аммонитом. Это объясняется тем, что основную часть стоимости взрывных работ составляет стоимость ВВ, а аммиачная селитра почти в три раза дешевле аммонита. Аммиачная селитра—белый кристаллический порошок, сильно гигроскопический, легко растворяющийся в воде.

---

[1] Н. У. Турута. Буро-взрывные работы. Металлургиздат. Свердловск—Москва, 1954.

Аммиачная селитра не детонирует от капсюля-детонатора, и для взрыва ее необходимо применять заряд другого ВВ, например аммонита. Аммиачная селитра обладает свойством слеживаться в крупные куски и в этих случаях приходится измельчать ее перед взрывом с тем, чтобы крупность зерен не превосходила 10 *мм*. К ударам, трению, огню и нагреванию аммиачная селитра мало чувствительна.

Для взрывов применяются д и н а м о н ы, представляющие собой смесь из 90% аммиачной селитры и 10% муки сосновой коры, древесной муки, торфа, жмыхов.

Скорость детонации динамонов 2100—2800 *м/сек*, объем газов взрыва 700 *л/кг*, температура взрывов 1900—2750°.

Д и н а ф т а л и т о м з е р н е н ы м называют аммиачно-селитренное ВВ, в состав которого входит динитронафталин. Динафталин негигроскопичен, значительно более водоустойчив, чем аммонит, при длительном хранении не слеживается. Скорость детонации 5100 *м/сек*, объем газов 920 *л/кг*, температура взрыва 2650°, работоспособность 340 *см*^{3}, бризантность 14 *мм*.

М и н н ы й (дымный) п о р о х представляет собой механическую смесь из 10% серы, 15% древесного угля и 75% калийной селитры. Он является наиболее слабым ВВ, опасным в обращении; поэтому при взрывных работах он не употребляется, а применяется для изготовления бикфордова шнура.

О к с и л и к в и т а м и называются ВВ, представляющие собой смесь жидкого кислорода с поглотителями, в качестве которых применяют сажу и активизированный уголь (лучшие поглотители), древесную или пробковую муку, торф и мох. В отдельности ни жидкий кислород, ни поглотители не являются взрывчатым веществом. Смешение их производится в бумажных патронах, в которые насыпают поглотители, после чего патрон пропитывается жидким кислородом. Жидкий кислород из патрона скоро испаряется, вследствие чего взрывная сила патрона быстро уменьшается, а затем и совсем исчезает. В зависимости от диаметра патронов взрывная сила сохраняется от 5 минут до 1 часа 10 минут. Поэтому взрывные патроны изготовляют перед самым взрывом. Оксиликвиты удобны для туннельных работ, так как взрыв происходит без выделения газов.

Недостаток оксиликвитов состоит в кратковременности сохранения ими взрывной силы, вследствие чего они непригодны для минных колодцев и массовых взрывов; они применяются главным образом для зарядки скважин.

Т р о т и л о м (толом) называется порошок светло-желтого цвета, горьковатый на вкус, нерастворимый в воде; к ударам и трению он малочувствителен; под водой сохраняет взрывчатые свойства. Выпускается в порошкообразном, прессованном и плавленом виде.

Порошкообразный и прессованный тротил детонирует от капсюля-детонатора; для детонации плавленого тротила необходим более мощный промежуточный детонатор из порошкообразного или прессованного тротила.

Инициирующие ВВ применяются в качестве первичных зарядов капсюлей-детонаторов и электродетонаторов. Их характерные особенности: повышенная чувствительность к нагреванию и способность при взрыве в небольших количествах вызывать детонацию значительных количеств ВВ.

Первичными инициирующими веществами являются г р е м у ч а я р т у т ь, а з и д с в и н ц а и т е н е р е с. Имеются еще вторичные инициаторы, которыми заряжаются капсюли-детонаторы совместно с первичными. Их роль сводится к передаче детонации от первичных инициирующих ВВ к заряду. К вторичным инициаторам относятся тетрил, пентрит (Тэн), гексогентротил (Тол).

Г р е м у ч а я р т у т ь представляет собой мелкокристаллический порошок белого или серого цвета; при нагревании до 160—165° он взрывается. В сухом состоянии гремучая ртуть чрезвычайно чувствительна даже к слабым механическим воздействиям; при влажности в 30% она не взрывается ни от удара, ни от искры и даже не горит, но хорошо детонирует от взрыва заряда сухой гремучей смеси; поэтому ее хранят во влажном состоянии.

Азид свинца—это белый тонкокристаллический порошок, окрашивающийся в желтый цвет при непродолжительном пребывании на свету. Под влиянием влаги он не теряет своих взрывчатых свойств. К удару и пламени он менее чувствителен, чем гремучая ртуть; поэтому в капсюлях-детонаторах поверх азида свинца помещают небольшое количество тенереса.

Азид свинца обладает примерно в 5—10 раз большей инициирующей способностью, чем гремучая ртуть.

Тенерес представляет собой золотисто-желтые, темнеющие на воздухе кристаллы. Он взрывается от удара, трения и огня бикфордова шнура; его взрывчатые свойства от влаги не изменяются. Он реагирует на действие пламени сильнее, чем азид свинца, и поэтому является обязательным в азидовых капсюлях-детонаторах. Сила его взрыва ниже, чем гремучей ртути и азида свинца.

Тетрилом называется кристаллический порошок, бледно-желтого цвета, не гигроскопичный, сохраняющий в присутствии влаги свои взрывные свойства. К удару и трению он менее чувствителен, чем первичные инициирующие вещества.

ТЭН (пентрит) представляет собой белый кристаллический порошок, не растворимый в воде и не теряющий взрывных свойств в присутствии влаги. По чувствительности к механическим воздействиям он почти равен тетрилу. Вызывает головные боли при работе с ним, но менее сильные, чем нитроглицерин. Скорость детонации различных инициирующих ВВ 5300—8400 *м/сек*, объем газов 308—800 *л/кг*, температура взрыва 3030—4450°, работоспособность[1] 110—500 *см*^{3}.

Ассортимент ВВ для открытых работ ограничен аммонитами № 9 и № 10, аммиачной селитрой, тротилом, оксиликвитами. На всех работах, кроме шахт, опасных по газу или пыли, допускаются следующие ВВ: аммонит № 6 (порошкообразный, зерненый, вальцованный и прессованный), аммонит № 7, динафталин зерненый, алюмит, 62-процентный динамит, 62-процентный труднозамерзающий динамит[2].

Для подземных работ применяются также сильные и водоустойчивые аммониты и порошкообразные скальные аммониты, но их использование на открытых работах не практикуется из-за очень высокой стоимости (5—6 тыс. руб. за тонну). Для этих целей нужны более дешевые сорта (1,5—2 тыс. руб. за тонну), пригодные для дробления крепких и весьма крепких пород, нужны дешевые сорта (500—800 руб. за тонну) для работ на выброс.

В США проявляется тенденция к использованию на открытых работах аммиачно-селитренных ВВ. Их готовят на месте работ в установках простейшего типа (например, смесь 5% сажи и 95% аммиачной селитры) или смешивают непосредственно в скважине, куда одновременно засыпают 95% аммиачной селитры и заливают 5% мазута. Такие ВВ очень дешевы и достаточно мощны для дробления пород средней крепости и крепких[3].

Кислородный баланс. Взрывчатое разложение ВВ происходит в результате окисления горючих элементов (углерода и водорода). Окислителем служит кислород, который обязательно входит в состав всякого ВВ.

Кумулятивное действие взрыва заряда ВВ. При взрыве зарядов обычной формой энергия взрыва распределяется равномерно во все стороны. Для придания заряду повышенного разрушающего действия в каком-нибудь определенном направлении применяют кумулятивные заряды.

Схема кумулятивного действия заряда представлена на рисунке 180. С одной стороны заряда делают углубление, а капсюль-детонатор располагают с противоположной стороны, но на одной оси с углублением. Заряды такой формы называют кумулятивными; они производят большие разруше-

---

[1] Н. У. Турута. Буро-взрывные работы. Металлургиздат, Москва—Свердловск. 1954.

[2] Единые правила безопасности при ведении взрывных работ. Углетехиздат, 1955.

[3] В. А. Ассонов. Современные взрывчатые вещества и средства взрывания. «Научно-техническое совещание по буро-взрывным работам». Углетехиздат, М., 1958.

ния, чем обычные заряды, ось которых направлена по оси кумулятивного углубления.

При кумулятивных зарядах взрывные волны, направленные от капсюля-детонатора по оси заряда, преломляются при встрече кумулятивного заглубления, выходят внутрь выемки перпендикулярно к ее стенкам и соединяются в плотную струю, концентрирующуюся в точке на продолжении оси заряда. Это явление носит собирательный (кумулятивный) характер, откуда оно и получило свое название.

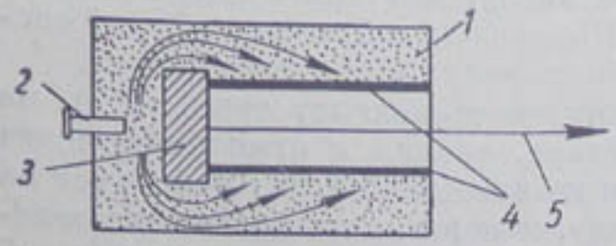


Рис. 180. Разрез кумулятивного заряда:
1—ВВ; *2*—детонатор; *3*—инертная прокладка; *4*—металлическая трубка; *5*—направление выброса.

Вследствие концентрации взрывных волн в кумулятивном фокусе площадь их резко уменьшается, что приводит к увеличению давления, температуры и скорости ударного потока газов по направлению оси кумулятивной выемки; суммарная энергия взрыва при этом не увеличивается, но перераспределяется с усилением действия по оси заряда.

Явление кумуляции используется в капсюлях-детонаторах путем устройства вогнутости в донышке гильзы, что увеличивает инициирующее их действие. Явление кумуляции используется при направленных взрывах на выброс для устройства перемычек и небольших земляных плотин.

§ 2. СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ВЗРЫВАНИЯ

Для взрывания зарядов промышленных, малочувствительных ВВ используется мощный начальный импульс инициирующих ВВ, помещаемых внутри заряда большой величины.

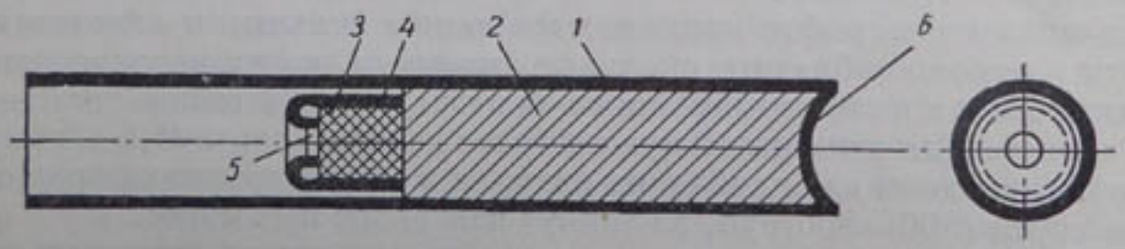


Рис. 181. Капсюль-детонатор:
1—бумажная или металлическая гильза; *2*—вторичный инициатор (пентрит, тетрил); *3*—первичный инициатор (гремучая ртуть, азид свинца); *4*—металлическая чашечка, прикрывающая ВВ; *5*—отверстие для вставки бикфордова шнура; *6*—кумулятивное углубление.

Средства для сообщения начального импульса инициирующим ВВ, а от них заряду ВВ, называются **средствами взрывания** (СВ). К ним относятся капсюль-детонатор, огнепроводный (бикфордов) шнур и средства для его зажигания, электродетонаторы и детонирующий шнур.

Для начального разложения ВВ применяют **капсюль-детонатор**, представляющий собой патрон с взрывчатым веществом, легко детонирующим от теплового или механического импульса. В качестве первичного инициатора применяют гремучую ртуть или азид свинца, а вторичного — тетрил, тротил (тол).

Капсюль-детонатор (рис. 181)—это металлическая или бумажная гильза *1* длиной 47—50 *мм* с внутренним диаметром 6,6 *мм*, в которую впрессовывается сначала 1 *г* вторичного инициатора *2*, служащего для основной детонации, а затем 0,2—0,5 *г* первичного инициатора *3*, служащего для вторичной детонации. Капсюль взрывается мгновенно (0,004 *сек*), создавая давление до 28 тыс. *атм*. Взрывчатое вещество в капсюле прикрывается сверху металлической чашечкой *4* с отверстием *5* посредине. Наиболее употребителен капсюль-детонатор № 8, который бывает гремуче-ртутно-тетриловым или

азидно-тетриловым. С капсюлем нужно обращаться очень осторожно, так как он может взорваться от искры, огня, удара, трения или даже легкого царапанья.

Применяют два способа взрывания: огневой и электрический.

При о г н е в о м с п о с о б е капсюль взрывается от пламени огнепроводного (бикфордова) шнура, вставляемого в незаполненную часть гильзы, в углубление заряда до соприкосновения с чашечкой, и закрепляемого щипцами так, что шнур оказывается прочно соединенным с капсюлем. Соединение капсюля со шнуром называется в о с п л а м е н и т е л ь н о й т р у б к о й; оно должно быть выполнено весьма тщательно, в противном случае взрыв может не произойти. Для этого шнур должен быть срезан строго перпендикулярно оси, а отверстие в детонаторе должно быть очищено от сора (легким постукиванием о ноготь пальца).

О г н е п р о в о д н ы й (бикфордов) ш н у р поджигается пеньковым фитилем, пропитанным раствором селитры и горящим со скоростью *4 см/мин*. Сердцевина огнепроводного шнура состоит из мелких пороховых зерен с направляющими хлопчатобумажными нитями, заключенными в многослойную изолирующую оболочку нескольких обмоток и оплеток.

Скорость горения нормально горящего огнепроводного шнура равна около 10 *мм/сек*, а медленно горящего шнура—около 5 *мм/сек*. Медленно горящий шнур имеет желтую окраску наружной оболочки.

Наша промышленность выпускает огнепроводные шнуры с асфальтированной оболочкой для работы в сухих и сырых местах и с другими оболочками (гуттаперчевой и полихлорвиниловой) для работы в мокрых местах и под водой.

Патрон ВВ, в который введен капсюль-детонатор с обрезом огнепроводного шнура, называется п а т р о н о м-б о е в и к о м. Он располагается у середины заряда.

Патроны ВВ вводятся в шнур деревянным забойником, причем патроны аммонита предварительно тщательно разминаются в руке. Длина заряда не должна превышать $^2/_3$ длины шнура, остальная же часть его заполняется забойкой из одной части песка и трех частей глины. Одному взрывнику разрешается не более 12 поджиганий. При необходимости поджечь большее количество зарядов применяется патрон с зажигательной смесью, в который вставляется несколько концов огнепроводного шнура от зарядов и один конец для поджигания.

При э л е к т р и ч е с к о м с п о с о б е взрывания (рис. 182, *а*) в капсюль-детонатор вставляется электровоспламенитель *4*, который при накаливании тонкой (0,035 *мм*) проволочки, присоединенной к электропроводу *1* в виде вилочки и заканчивающейся мостиком накаливания *3*, зажигает воспламенительный состав, заключенный в бумажный цилиндрик. Зажигание воспламенительного состава и пироксилиновой ватки сопровождается взрывом первичного и вторичного инициаторов, патрона-боевика и всего заряда.

Э л е к т р о д е т о н а т о р ы мгновенного действия выпускают с проводниками звонковой изоляции для работы в сухих и влажных условиях, а для работ в мокрых местах и под водой—с проводниками в резиновой или полихлорвиниловой изоляции.

Для получения последовательных взрывов применяют электродетонаторы замедленного действия (182, *б*). Они отличаются от вышеописанных электродетонаторов мгновенного действия тем, что в них между первичным инициатором и воспламенителем помещается замедляющий состав. Замедление устраивается на 2, 4, 6 и 8 *сек*.

К достоинствам электрического способа взрывания относятся: одновременность взрывов, что усиливает эффект взрыва; значительно бо́льшая безопасность взрывных работ, так как взрывание может производиться с достаточно далекого и безопасного расстояния; возможность проверить провода электросети перед самым взрывом и обеспечить этим его безотказность.

Массовые взрывы производятся только электрическим способом. Электродетонаторы можно взрывать от осветительной электросети или, при отсутствии ее, с помощью динамоэлектрических машинок.

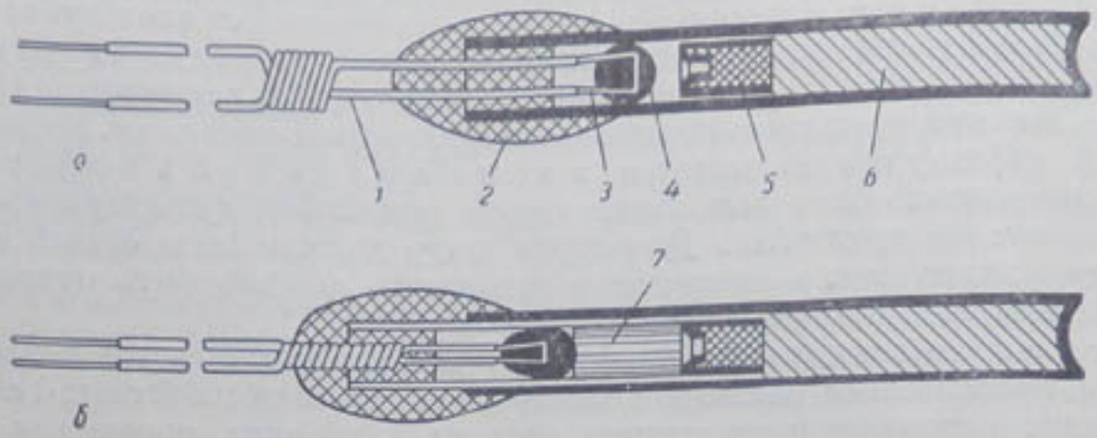


Рис. 182. Электродетонаторы:
а—мгновенного действия; *б*—замедленного действия. *1*—электропровод; *2*—изоляционная мастика; *3*—мостик накаливания; *4*—воспламенитель, *5*—чашечка с инициирующим составом; *6*—вторичный инициатор; *7*—замедляющий состав.

Электродетонаторы можно включать в сеть последовательно, параллельно и смешанно (рис. 183).

При последовательном соединении электродетонаторы включают в сеть один за другим, так что через каждый из них проходит весь ток от источника тока. Это наиболее простой способ; для взрыва достаточно слабого тока от 1 до 5 *а* с надлежащим направлением. Можно пользоваться взрывной машинкой, которая дает сравнительно высокие напряжения при малом токе. Ток, проходящий через электровоспламенитель, должен быть в пределах 1—5 *а*; при токе менее 1 *а* мостик не накалится до температуры, необходимой для воспламенения смеси, а при токе больше 5 *а* мостик может перегореть, не воспламенив смеси. В обоих случаях взрыва не произойдет. К недостаткам последовательного соединения относятся: выход из строя всей цепи при обрыве ее в каком-либо месте и отказ воспламенителей с меньшим сопротивлением, если в цепи окажутся воспламенители с разными сопротивлениями.

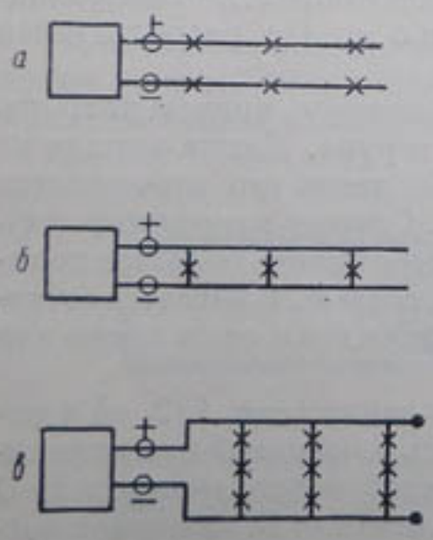


Рис. 183. Способы соединения электродетонаторов с электросетью:
а—последовательное; *б*—параллельное; *в*—смешанное.

При параллельном соединении электродетонаторы располагают между двумя проводниками по одному, а при смешанном—по нескольку штук, соединенных последовательно.

Достоинство параллельного соединения состоит в независимости взрыва, а недостаток—в необходимости сильного источника тока; пользование взрывной машинкой при параллельном соединении почти исключается. При электровзрывании необходимо производить расчет проводящей сети.

Детонирующий шнур (ДШ), в отличие от огнепроводного шнура, имеет сердцевину из высокобризантных ВВ (гремучей ртути и тетрила, тэна), помещенную в три нитяные оплетки; количество ВВ в 1 пог. *м* шнура около 8—12 *г*. В СССР применяют в настоящее время только тэновый ДШ со скоростью детонации 7200 *м/сек*.

ДШ окрашен в ярко-красный цвет, толщина его 5,5 *мм*. Основное назначение детонирующего шнура состоит в одновременном взрывании нескольких зарядов через капсюль-детонатор; однако детонирующий шнур в ряде

случаев сам создает достаточный внешний импульс для взрыва заряда, причем в этом случае на конце его завязывают 2—3 узла.

Через детонирующий шнур детонация передается по всей длине заряда, что делает его применение особо уместным в скважинах, заряженных с промежутками (колонковые заряды). Шнур детонирует динамиты, аммониты и порох. Детонирующий шнур взрывается не от искры, как огнепроводный, а от капсюля-детонатора, соединенного одним концом со шнуром.

Детонирующий шнур применяется при взрывах большого количества зарядов.

Соединение магистральной линии детонирующего шнура с ответвлениями делается либо через капсюль-детонатор, либо без него морским узлом. Детонирующий шнур применяют в качестве обязательной дублирующей проводки при взрывании зарядов минных камер и колодцев.

Детонирующий шнур легко режется острым ножом на дереве; от спички или пламени он не взрывается. Шнуры должны храниться в сухих складах с постоянной температурой не больше 30°; они не выдерживают непосредственного воздействия солнечных лучей или высоких температур и взрываются.

Оболочка шнура обеспечивает ему водонепроницаемость не менее чем в течение 12 часов, что позволяет применять его в мокрых забоях и при подводных работах.

Недостаток электровзрывания состоит в необходимости проводки и монтажа электровзрывной сети. Для устранения недостатков электровзрывания следует решить задачу подведения энергии для накаливания мостика без проводов путем радиоволновой передачи.

Лабораторные опыты путем излучения радиоволн в свободное пространство показали возможность воспламенения без проводов промышленных электровоспламенителей в электромагнитном поле с использованием генератора радиоволн в диапазоне 1000—900 мегагерц[1].

§ 3. ЗАРЯДЫ И ИХ РАЗМЕЩЕНИЕ

З а р я д о м называется определенное количество ВВ, предназначенное к использованию для взрыва намеченного объекта. Пространство для размещения заряда называется з а р я д н о й к а м е р о й. В шпурах и скважинах зарядной камерой является нижняя их часть; в минных колодцах и штольнях устраиваются специальные зарядные камеры.

З а р я д называют с о с р е д о т о ч е н н ы м, если он имеет форму шара или куба, или у д л и н е н н ы м, если он имеет форму цилиндра или параллелепипеда, высота которых более чем в четыре раза превышает диаметр основания.

Если при удлиненном заряде ВВ заполняют зарядную камеру без перерыва, то такой заряд называют с п л о ш н ы м, или непрерывным. Если же заряд состоит из отдельных частей, разделенных промежутками, заполненными другим материалом, то он называется р а с с р е д о т о ч е н н ы м, или прерывным.

Свободная от заряда часть шпура, скважины, минного колодца или штольни плотно заполняется материалом, называемым з а б о й к о й, которая должна хорошо сопротивляться действию взрыва.

В качестве забойки шпуровых зарядов применяют сухой песок, мел, глину, смесь глины с песком, а для мокрых нисходящих шпуров также и воду. Лучшим материалом забойки является смесь глины с песком с добавкой воды.

При зарядах, помещенных в скважинах, забойку следует делать из породной мелочи, с предварительным просеиванием ее и отбрасыванием

[1] А. Ф. В а й п о л и н. Опыт взрывания электродетонаторов без проводов. «Научно-техническое совещание по буро-взрывным работам». Институт горного дела Академии наук СССР—Углетехиздат, М., 1958.

материала крупнее 40 *мм*, который может застрять в скважине и образовать пустоты, резко снижающие плотность залегания.

При камерных зарядах вблизи камеры следует укладывать мешки с песком или землей, а остальную часть заполнять породой, вынутой при проведении выработки.

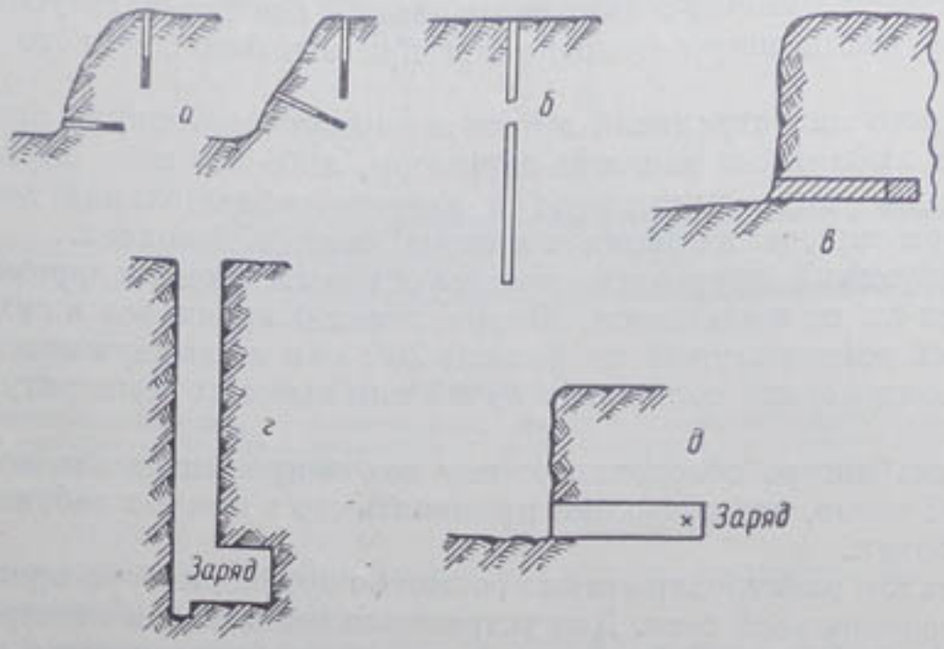


Рис. 184. Виды выработок:
а—шпуры; *б*—скважина; *в*—рукав; *г*—минный колодец; *д*—штольня.

Работа взрыва направлена главным образом по линии наименьшего сопротивления (л.н.с.); поэтому заряды следует размещать так, чтобы направление забойки не совпадало с л. н. с.

Рекомендуется делать забойку при методе шпуровых зарядов, равной 0,3÷0,6 длины шпура, при котловых зарядах 0,6÷0,9 длины шпура, при зарядах в скважинах 0,7—0,8 л. н. с., при камерных зарядах не менее 1,25 л. н. с.

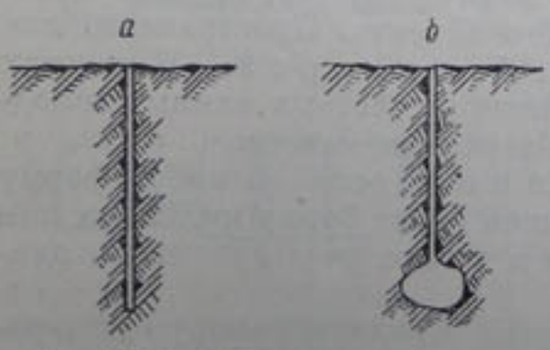


Рис. 185. Образование котла:
а—скважина до взрыва; *б*—котел, образовавшийся после взрыва.

Для лучшего использования взрывной силы заряд ВВ размещают внутри взрываемой породы. Для этого в ней делают предварительные выработки, которые, в зависимости от размеров и формы, разделяются на: а) ш п у р ы—цилиндрические отверстия небольших диаметров (35—75 *мм*), глубиной на открытых работах 2—3 *м* и реже до 4—5 *м*; шпуры могут быть вертикальными, горизонтальными и наклонными (рис. 184, *а*); этот метод мало эффективен, так как взрыв небольшого заряда, помещающегося в шпуре, разрушает лишь небольшой объем породы, а затраты на бурение значительны; б) с к в а ж и н ы—цилиндрические отверстия больших диаметров (75—250 *мм*), значительной глубины—до 40 *м*; скважины могут иметь различный наклон к горизонту (рис. 184, *б*); в) м и н н ы е ш у р ф ы, или к о л о д ц ы,— вертикальные выработки сечением 1×1 *м* и 1×1,5 *м* (рис. 184, *г*); г) м и н н ы е ш т о л ь н и, или г а л е р е и,—горизонтальные или слабонаклонные выработки сечением 0,8×1,5 *м* и более (рис. 184, д); д) р у к а в а—горизонтальные выработки сечением до 1,4 × 0,4 *м* (рис. 184, *в*).

Если заряд необходимого объема не размещается в шпурах или скважинах, то путем нескольких предварительных взрывов небольших зарядов ВВ в забое шпура устраивают расширение, называемое к о т л о м (рис. 185);

в это расширение после его очистки помещают установленный расчетом заряд для основного взрыва. Варывание для получения котла называется *прострелкой*, а способы разработки с применением шнуров и скважин — *котловыми*. В минных шурфах и штольнях устраивают специальные камеры для размещения зарядов, и потому такие способы разработки называются *камерными*.

Для повторного дробления слишком крупных кусков, полученных от основного взрыва, а также для взрывания отдельных больших валунов применяют метод *накладных зарядов*. Заряды накладывают на камень или пень, подлежащие взрыву, засыпают землей и обмазывают глиной. В этом случае ВВ расходуется менее эффективно.

Шнуры применяют для рыхления скальных и мерзлых грунтов в забоях при экскаваторной разработке грунтов, для работ по рыхлению мерзлых и тяжелых грунтов, проведению минных выработок при массовых взрывах. Скважины применяют при открытых работах.

Исследования, проведенные лабораторией открытых работ Института горного дела АН СССР, показали, что рациональная конструкция заряда создает возможность перераспределения энергии, затрачиваемой на полезную работу взрыва[1]. Под рациональной конструкцией заряда понимается не только геометрическая форма самого заряда, но и геометрическая форма зарядной камеры и соотношение объемов камеры и заряда.

Разработка конструкции заряда велась в двух направлениях: 1) по линии изменения формы заряда (соотношение между высотой заряда и его диаметром) и 2) по линии создания воздушного слоя между зарядом ВВ и стенками зарядной камеры. Наличие этого воздушного слоя значительно увеличивало работу заряда по выбросу породы, время воздействия газов взрыва на разрушаемую породу и размеры видимой воронки, главным образом за счет увеличения ее глубины.

Конструкция заряда при взрыве на выброс должна обеспечить снижение начального давления продуктов взрыва до пределов, необходимых для разрушения породы и ее выброса. Наоборот, конструкция заряда дробления должна влиять на увеличение части энергии, расходуемой на измельчение взрываемой породы, и на уменьшение доли энергии, идущей на метательное действие взрыва.

Исследования и опытные взрывы показали, что наиболее эффективным оказалось расположение заряда в скважине при рассредоточении заряда воздушными слоями и создании над зарядом воздушного слоя с заполнением верхней части скважины воздушной забойкой.

§ 4. ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Газы, образующиеся в момент взрыва заряда ВВ, оказывают статическое давление на окружающую среду и динамический удар на стенки зарядной камеры. Как показателем величины статического давления пользуются относительной работоспособностью.

Статическое давление, непрерывно возрастающее во время реакции взрыва, раздавливает и раскалывает среду, обусловливая поступательное движение отдельных ее кусков. Интенсивность статического воздействия определенного заряда зависит от его формы: она тем больше, чем меньше поверхность заряда. Так как шар имеет наименьшую поверхность при данном объеме, то заряды в форме шара или куба оказывают при одинаковом весе и объеме заряда наибольшее удельное давление на поверхность зарядной камеры и наибольшее разрушительное и выбрасывающее действие на среду. Эффективность сосредоточенных зарядов больше, чем удлиненных.

---

[1] Л. Н. Марченко. Конструкция заряда, как один из методов повышения мощного использования энергии взрывчатого вещества. «Научно-техническое совещание по буро-взрывным работам». Углетехиздат, М., 1958.

Величина динамического удара, производящего работу дробления, находится в прямой зависимости от скорости детонации и практически учитывается испытанием на бризантность.

При взрыве возникает как статическое, так и динамическое действие, причем с увеличением скорости взрыва увеличиваются динамические воздействия, и наоборот.

Если взрыв сосредоточенного заряда происходит в однородной и неограниченной среде, то результирующие статического и динамического воздействия распространяются во все стороны радиально-концентрическими шарообразными сферами, причем действие взрыва ослабевает по мере удаления от центра заряда—фокуса взрыва (рис. 186).

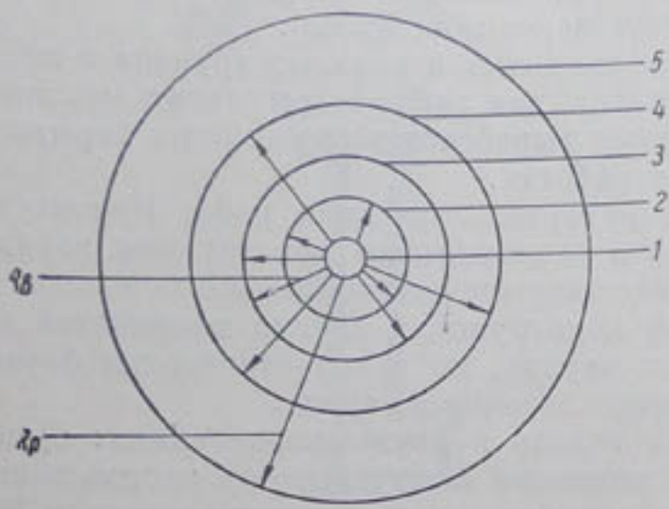


Рис. 186. Сфера действия взрыва:
1—заряд; *2*—сфера сжатия; *3*—сфера выброса; *4*—сфера трещинообразования (рыхления); *5*—сфера колебания. $R_в$—радиус выброса; $R_р$—радиус разрушения.

Ближайшая к заряду *1* шарообразная сфера *2*, в пределах которой порода сжимается, раздавливается и измельчается, называется сферой сжатия. В сжимаемых грунтах (глинах и суглинках) образуется сфера сжатия, а скальные грунты измельчаются в порошок.

Сфера *3*, в которой среда дробится на куски и получает поступательное движение (если эта сфера пересекается с поверхностью земли) со скоростями, превышающими скорость звука, называется сферой выброса.

За пределами сферы выброса действие взрыва ослабевает и выражается в трещинообразованиях с распределением породы на отдельные куски; эта сферическая область *4* называется сферой трещинообразования, или рыхления. За ней находится сфера колебания, или сотрясения *5*, в пределах которой происходят колебательные движения среды без нарушения ее структуры.

Сферы сжатия, выброса и разрыхления называются в совокупности сферой разрушения.

Действие взрыва может проявляться либо в самой среде и на обнаженной ее поверхности (наружное действие взрыва), либо только в самой среде без изменения ее поверхности (внутреннее действие); последнее характеризуется величиной радиуса разрушения. Радиус разрушения $R_р$ зависит только от свойства заряда и окружающей его среды. Поэтому при помещении заряда данного ВВ в определенной среде радиус разрушения сохраняет постоянную величину, независимо от того, как глубоко помещен заряд в среде; в этом состоит принцип независимости внутреннего действия среды.

Если глубина заложения заряда от свободной поверхности больше радиуса разрушения, то взрыв не сопровождается сколько-нибудь значительными деформациями поверхности, и действие его выражается в образовании камеры в районе сферы сжатия. Такой взрыв называется камуфлетом, а наибольший по величине заряд, не обнаруживающий своего действия на поверхности, называется зарядом наибольшего камуфлета; такие заряды применяются при прострелке шпуров и скважин, когда требуется уширение зарядной камеры для размещения заряда (рис. 187).

Если радиус разрушения достигает свободной поверхности, то последняя подвергается деформациям, выражающимся в образовании трещин и выпучивании поверхности. Такой заряд называют зарядом выпирающего горна и применяют для рыхления грунтов (рис. 187, *б*). Если заряд выши-

рающего горна приблизить к поверхности так, чтобы радиус выброса был больше расстояния от центра заряда до свободной поверхности (рис. 187, *а*), то после взрыва порода будет выброшена в направлении 00_1—линии наименьшего сопротивления (л. н. с.). За пределами воронки выброса образуется разрыхление среды *1*. Разрыхленные и выброшенные куски двигаются по различным траекториям, причем часть их падает обратно в воронку выброса *2*, а часть падает на борта воронки, образуя отвалы *3*. Поэтому получающаяся

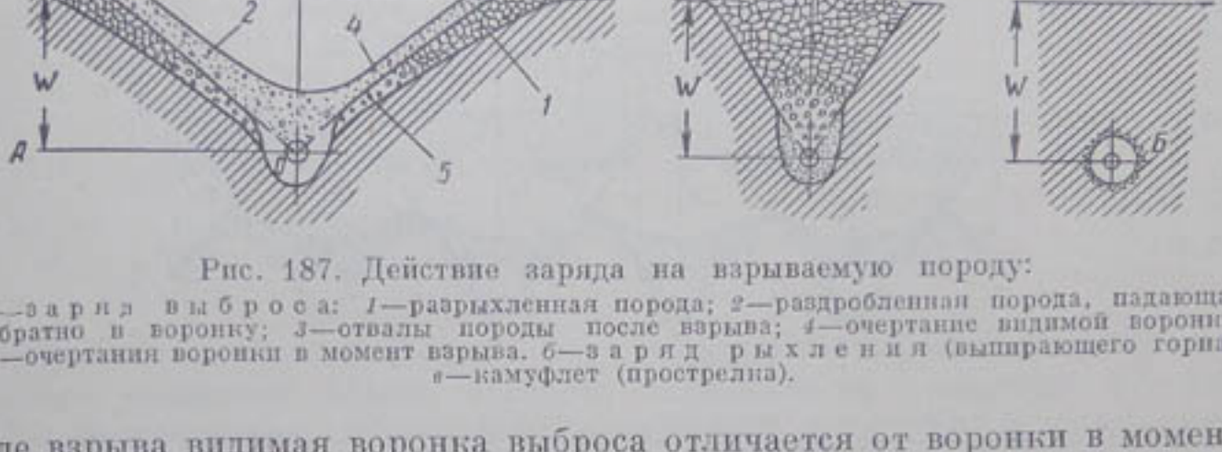


Рис. 187. Действие заряда на взрываемую породу:
а—заряд выброса: *1*—разрыхленная порода; *2*—раздробленная порода, падающая обратно в воронку; *3*—отвалы породы после взрыва; *4*—очертание видимой воронки; *5*—очертания воронки в момент взрыва. *б*—заряд рыхления (выпирающего горна). *в*—камуфлет (прострелка).

после взрыва видимая воронка выброса отличается от воронки в момент ее образования. Наружное действие взрыва характеризуется отношением радиуса верхнего основания воронки выброса *4* к длине линии наименьшего сопротивления w (рис. 187). Отношение $n=\frac{r}{w}$ называется показателем выброса, или показателем горна.

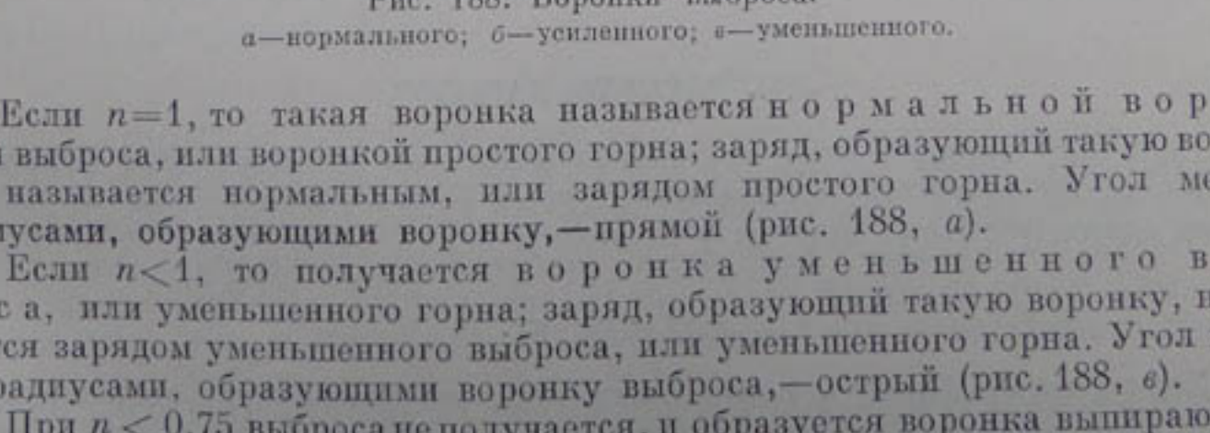


Рис. 188. Воронки выброса:
а—нормального; *б*—усиленного; *в*—уменьшенного.

Если $n=1$, то такая воронка называется нормальной воронкой выброса, или воронкой простого горна; заряд, образующий такую воронку, называется нормальным, или зарядом простого горна. Угол между радиусами, образующими воронку,—прямой (рис. 188, *а*).

Если $n<1$, то получается воронка уменьшенного выброса, или уменьшенного горна; заряд, образующий такую воронку, называется зарядом уменьшенного выброса, или уменьшенного горна. Угол между радиусами, образующими воронку выброса,—острый (рис. 188, *в*).

При $n<0{,}75$ выброса не получается, и образуется воронка выпирающего горна. Эти заряды применяют, когда требуется дробление породы, а разлет осколков недопустим.

Если $n>1$, то получается воронка усиленного выброса, или усиленного горна (рис. 188, *б*); угол между радиусами, образующими воронку,—тупой. При массовых взрывах на выброс работают именно с такими воронками, причем значение показателя выброса n обычно берут в пределах более 1, но не более 3, так как увеличение выброса при большем значении n практически невелико. При зарядах нормального и усиленного выброса порода не только дробится, но и выбрасывается на более или менее значительное расстояние, причем после взрыва остается видимая воронка выброса.

С б л и ж е н н ы м и называются заряды, расстояния между центрами которых не превышают двух радиусов воронки взрыва.

Если расстояние между зарядами $a=r=w$ (рис. 189, *а*), то заряды производят совместное действие и в результате взрыва получается сплошная выемка без перемычек шириной по верху не более $2r$. Выброшенная порода образует два отвала вдоль выемки.

При расстоянии между зарядами $a<r$ также получается сплошная выемка, но несколько большей ширины.

При $a=2r$ совместного действия зарядов не наблюдается и между воронками взрыва остаются значительные перемычки из разрыхленного грунта (рис. 189, *б*).

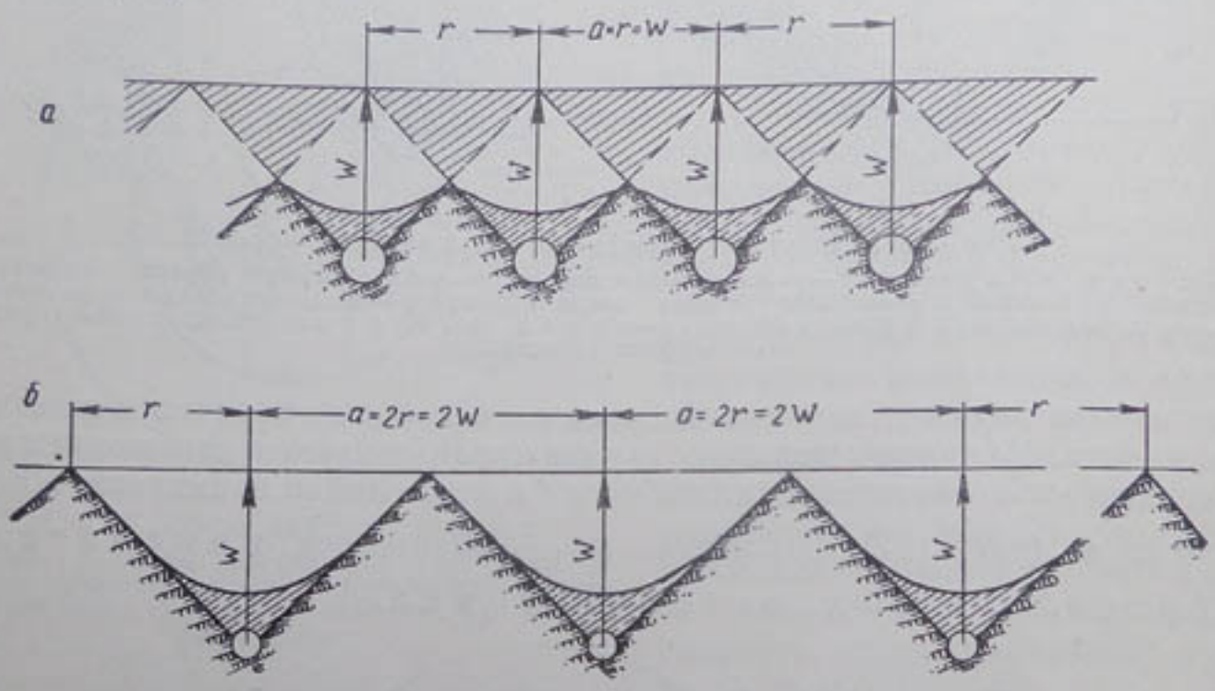


Рис. 189. Действие зарядов нормального выброса:
а—$r=w$; *б*—при $a=2r=2w$.

Для получения более широких выемок при работе с направленным выбросом применяют многорядное (по ширине) расположение сближенных зарядов; обычно располагают заряды в 2, а иногда в 3—4 ряда. В последнем случае средние заряды увеличивают по отношению к крайним.

§ 5. РАСЧЕТЫ ЗАРЯДОВ

Величину зарядов Q (в *кг*) рассчитывают по эмпирическим формулам, в зависимости от объема взрываемой породы V (в $м^3$) и от удельного расхода ВВ на единицу объема породы q (в $кг/м^3$):

$$Q = qV \ кг. \tag{96}$$

Если принять форму воронки в виде опрокинутого конуса, то для воронки нормального выброса радиус основания конуса равен л.н.с.—w, а $V \cong w^3$. В этом случае формула (96) принимает вид:

$$Q = qw^3. \tag{97}$$

Формула (97) применяется при пользовании стандартным ВВ работоспособностью в 280 $см^3$; при употреблении иного ВВ в формулу (97) должен быть введен коэффициент α, учитывающий переход от стандартного ВВ к данному ВВ ($\alpha=0{,}75 \div 1{,}70$); тогда формула (97) получает вид:

$$Q = \alpha q w^3. \tag{98}$$

Данные о величине q для стандартного ВВ (аммонита) приведены в таблице 29[1].

Таблица 29

Порядковый номер	Наименование породы	q в кг/м³
I	Ил, торф	0,60—0,90
II	Глина, суглинок	1,20—1,60
III	Песок, гравий	1,20—1,45
IV	Галька, щебень, камень в россыпи	1,40—1,65
V	Мягкий известняк, мел, трепел, бурый уголь, мергель, мерзлые грунты I, II и III классов	1,65—1,80
VI	Выветренные, сильно- и среднетрещиноватые песчаники, известняки, змеевики, доломиты, разные сланцы	1,70—1,95
VII	Крепкие известняки, песчаники, доломиты, конгломераты	1,96—2,35
VIII	Гранит, гнейс, диабаз, порфирит	2,36—2,75
IX	Базальт, габбро, кварцит	2,76—3,20

При зарядах уменьшенного или усиленного выброса влияние относительного изменения объема воронки, отличного от расчетного w^3, учитывается дополнительно множителем, называемым функцией показателя выброса и обозначаемым $f(n)$.

Инженер М. Боресков предложил для $f(n)$ формулу:

$$f(n) = (0{,}4 + 0{,}6n^3).$$

С учетом коэффициента $f(n)$ формула (96) получает вид:

$$Q = q\alpha w^3 f(n) \ кг; \tag{99}$$

$$Q = \alpha q w^3 (0{,}4 + 0{,}6n^3). \tag{99а}$$

Формула (99а) обычно применяется для определения веса зарядов усиленного выброса. В скальных некрепких и среднекрепких породах более близкие к действительности значения зарядов получаются по следующим формулам:

для некрепких пород

$$Q = \alpha q w^3 (0{,}2 + 0{,}8n^3) \ кг; \tag{100}$$

для среднекрепких пород

$$Q = \alpha q w^3 (0{,}3 + 0{,}7n^3) \ кг. \tag{101}$$

Расчет зарядов рыхления чаще всего производят по формуле (100), принимая для $f(n)$ значения от 0,2 до 0,7, в зависимости от свойств грунта и необходимой степени рыхления. Вес заряда, при котором происходит вспучивание грунта на поверхности, определяют, принимая $f(n) = 0{,}38$, а для заряда наибольшего камуфлета $f(n) = 0{,}2$. Формула (99a) относится к взрыванию при одной открытой поверхности; при нескольких открытых поверхностях действие взрыва будет сильнее.

Перед началом взрывных работ значение величины q уточняют пробными взрывами.

§ 6. РЕЗУЛЬТАТЫ ВЗРЫВОВ

При зарядах усиленного выброса увеличивается не только вес заряда, но и объем взрываемой породы. По данным инж. Н. М. Лопатина[2], удельный объем ВВ $q_{ус}$ в этом случае повышается по сравнению с простым горном пропорционально величине $\frac{f(n)}{n^2}$.

[1] Руководство по буро-взрывным работам на железнодорожном строительстве.
[2] Н. М. Лопатин. Массовые взрывы на выброс и сброс. Ленинздат, 1946.

В таблице 30 приведены значения $f(n)$ и $\frac{f(n)}{n^2}$ при разных значениях показателя выброса n:

Таблица 30

n	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00
$f(n)$	1,00	1,57	2,43	3,62	5,20	7,30	9,78	12,88	16,60
$\frac{f(n)}{n^2}$	1,00	1,01	1,08	1,18	1,30	1,44	1,56	1,70	1,85

Из приведенных данных видно, что при зарядах усиленного горна, применяемых при взрывах на выброс, удельный вес заряда ВВ $q_{ус}$ быстро увеличивается. Так как стоимость ВВ составляет от 60 до 80% стоимости взрывных работ, то вопрос о выборе правильного показателя выброса имеет огромное значение. Практические данные показывают, что целесообразно принимать показатель выброса $n \leqslant 2{,}6$.

К элементам взрыва относятся видимая глубина воронки P, высота получающегося после взрыва гребня h, расстояние между зарядами a, дальность разлета взорванной среды L, радиус сферы сжатия $r_{сж}$.

Для зарядов аммонитов глубина P видимой воронки, образуемой взрывом, определяется по следующим формулам[1].

При взрывах одиночных зарядов в обыкновенных связных грунтах:

$$P = 0{,}33w(2n-1) \ м. \tag{102}$$

При взрывах нескольких зарядов, заложенных в один ряд, в обыкновенных связных грунтах для $n < 2$:

$$P = 0{,}40w(2n-1) \ м. \tag{103}$$

То же, при $n > 2$:

$$P = (0{,}38n + 0{,}88)\,0{,}75w \ м. \tag{104}$$

При скальных и несвязных грунтах при $n < 2$ P определяется по формуле (103), а при $n > 2$ по формуле:

$$P = (0{,}2n + 0{,}6)\,w \ м. \tag{105}$$

Дальность разлета L основной массы обыкновенного грунта при взрывах зарядов аммонита может быть ориентировочно определена по следующим данным:

Показатель выброса n	1,00	1,25	1,50	1,70	1,95	2,20	2,40	2,60
Дальность разлета L в $м$	$22\sqrt{w}$	$34\sqrt{w}$	$45\sqrt{w}$	$52\sqrt{w}$	$60\sqrt{w}$	$67\sqrt{w}$	$74\sqrt{w}$	$80\sqrt{w}$

Наибольшая дальность разлета отдельных кусков скального грунта $L_{макс}$ подсчитывается по формуле:

$$L_{макс} = 20n^2w \ м. \tag{106}$$

Для определения расстояния a между зарядами в ряду при взрыве совместно действующих зарядов получила широкое распространение формула:

$$a = 0{,}5w_{ср}(n+1), \tag{107}$$

где $w_{ср}$ — среднеарифметическое значение w для двух смежных зарядов в $м$;
n — показатель выброса.

В связных грунтах принято подсчитывать расстояние между зарядами в ряду по формуле[1]:

$$a = w_{ср}\sqrt{0{,}4 + 0{,}6n^3}. \tag{108}$$

[1] Руководство по буро-взрывным работам на железнодорожном строительстве. Трансжелдориздат, 1950.

Расстояние между рядами зарядов не должно быть больше, чем a.

Средняя величина гребня h приближенно определяется при $n < 2$ по формуле:

$$h = 0{,}1nw. \tag{109}$$

При $n > 2$ высота гребня h определяется по формуле:

$$h = (0{,}3 \div 0{,}5)\, w. \tag{110}$$

Радиус сферы сжатия можно приближенно вычислить по формуле:

$$r_{сж} = \beta \sqrt[3]{\frac{Q}{\Delta}} \; м,$$

где β — коэффициент, определяемый в зависимости от взрывных свойств ВВ и от рода грунта ($\beta = 0{,}10 \div 0{,}55$);

Q — вес заряда в *кг*;

Δ — плотность заряжения, равная для аммонита 0,9 — 1,0, для плавленого тротила 1,59, для пороха 0,95.

§ 7. МАССОВЫЕ ВЗРЫВЫ

Применяется несколько видов массовых взрывов: на выброс, на обрушение, с направленным выбросом и на сброс.

Массовые взрывы на выброс применяют для устройства траншей, каналов, котлованов, различного рода выемок в скальных и нескальных грунтах, для изменения направления русла рек, для разработки и вскрыши карьеров с одновременным устройством выездных траншей и т. д. При массовых взрывах на выброс на борта выемки выбрасывается 75—90% взорванной породы. Куски взорванной породы, двигаясь после взрыва по некоторым траекториям, сталкиваются затем друг с другом, в результате чего их полет происходит по равнодействующей, имеющей вертикальное направление. Поднявшись на некоторую высоту, сноп среды как бы распускается, и она разбрасывается в боковые стороны.

Массовые взрывы на выброс начали применять в СССР с 1936 г., когда был произведен грандиозный Коркинский взрыв (близ Челябинска). В плотных мокрых грунтах одновременным взрывом более 1800 $т$ ВВ была образована траншея объемом 802 тыс. $м^3$, длиной 1000 $м$, глубиной 20 $м$ и шириной по верху 80 $м$. В качестве ВВ применялась смесь аммонита и аммиачной селитры, причем вес отдельных зарядов доходил до 90 $т$, а удельный расход ВВ составил 2,25 $кг/м^3$. Производительность труда составила 47 $м^3$ на человеко-день, все подготовительные работы заняли 4 месяца.

Массовые взрывы на выброс, как один из способов ускорения строительства, получают все более широкое распространение. За период 1941—1945 гг. на строительстве железных дорог этим способом было разработано свыше 200 выемок длиной до 800 $м$ и глубиной до 32 $м$ с профильным объемом свыше 6 млн. $м^3$. Увеличился и процент выброса (на некоторых стройках до 97% профильного объема).

К достоинствам массовых взрывов на выброс относятся: быстрота и простота подготовительных работ, небольшие капиталовложения на оборудование, высокая производительность труда (от 20 до 70 $м^3$ на 1 человеко-день), возможность производить взрывы в районах, не имеющих электричества, независимость работ от климатических условий. Для удешевления массовых взрывов необходимо применять дешевые ВВ и механизировать буро-взрывные работы.

Отметим, что в некоторых случаях туннели можно заменить глубокими выемками, разрабатываемыми взрывами на выброс; это может дать некоторую экономию в стоимости работ и значительное сокращение сроков строительства.

Массовые взрывы на обрушение производят при горнодобычных работах, при производстве экскаваторных работ в скальных и мерзлых грунтах, при разработке карьеров и т. д.

Массовые направленные взрывы на выброс, при которых взорванная порода выбрасывается в требуемом направлении, применяют на горнодобычных работах, когда породу нужно сложить на нерабочей части выемки. На некоторых объектах удавалось сбросить в требуемом направлении до 90% взорванного грунта. Направленными взрывами берегов реки в последнее время строятся перемычки в ее русле, небольшие земляные плотины, распределительные водосбросные каналы и коллекторы.

Массовые взрывы на сброс применяют при горнодобычных работах для сброса вскрыши через действующий забой в отработанное пространство. Правильный расчет позволяет перебросить в отработанное пространство до 50—60% вскрышных пород.

Рассмотрим массовые взрывы на двусторонний выброс, так как они должны найти широкое распространение при строительстве гидромелиоративных систем и на гидротехнических работах.

§ 8. РАСЧЕТ И РАСПОЛОЖЕНИЕ ЗАРЯДОВ ПРИ ВЗРЫВАХ НА ДВУСТОРОННИЙ ВЫБРОС

Расчет взрыва на полный выброс в скальных и песчано-щебеночных грунтах производится в следующем порядке[1] (рис. 190).

1. Для каждого поперечного сечения выбирают наивыгоднейший показатель выброса. Опыт показал, что наименьший расход ВВ в песчаных, щебеночных и некрепких скальных грунтах получается при показателе $n=1{,}8$.

2. По формуле (101) устанавливают в каждом характерном поперечнике значение w по показателю выброса и по проектной глубине выемки $H_в$. Для скальных, песчаных и щебеночных грунтов принимают величину P равной глубине выемки $H_в$ или на 5—10% больше.

3. Необходимое число зарядов и их положение на поперечном профиле определяют по проектной ширине выемки по верху и по ширине по верху взрывной траншеи от одного заряда, равной $2nw$.

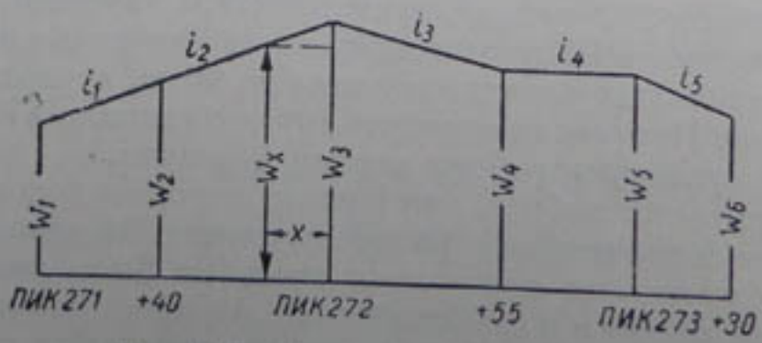


Рис. 190. Кривая величин л. н. с.

4. По формулам (99а), (100) или (101) определяют по величинам n и w веса зарядов, а по формуле (111) величину $r_{сж}$ и приближенно принимают ширину траншей в основании, равной $2r_{сж}$.

5. По величинам w для каждого ряда зарядов и расстоянием между проектными поперечными профилями строят кривые л.н.с. и по формуле (107) находят месторасположение зарядов в продольном профиле.

В связных нескальных грунтах расчет взрыва на полный выброс производится следующим образом.

---

[1] Руководство по буро-взрывным работам на железнодорожном строительстве. Трансжелдориздат, 1950.

1. Наименьший расход ВВ в глинистых и суглинистых грунтах получается при $n=1{,}85$; глубина траншей P при этом достигает величины $1{,}35\,w$ для суглинков и $1{,}40\,w$ для глин. По этим данным определяют величину w. Величина P не должна быть больше проектной глубины выемки $H_в$; обычно ее берут на 5—10% меньше $H_в$.

2. Если в скальных и песчаных грунтах величина $2nw \geqslant B$, где B—ширина выемки по верху или в связных грунтах $1{,}85\,P > \frac{B}{2}$, то в поперечном сечении достаточно располагать один заряд. Если $2nw < B$ или $1{,}85P < \frac{B}{2}$, то в поперечном сечении следует закладывать два заряда; каждый из них находится на вертикали, отстоящей от кромки выемки на величину nw. Если расстояние между вертикалями, т. е. между рядами зарядов, превышает a—нормальное расстояние между зарядами в ряду, то в поперечном профиле нужно проектировать три заряда. Если средний ряд зажат и находится в невыгодном положении по сравнению с другими рядами зарядов, то следует уменьшать значение P, получаемое из формул, на 15—20%. Заряды в разных рядах следует располагать друг против друга. Трехрядное расположение зарядов усложняет производство работ и поэтому нежелательно.

Для удешевления массовых взрывов очень часто применяют комбинированные заряды, обычно из аммонита и аммиачной селитры; в этом случае при расчете нужно применять переводные коэффициенты α [(формула (98)].

§ 9. СТРОИТЕЛЬСТВО ЗЕМЛЯНЫХ ПЕРЕМЫЧЕК И ПЛОТИН МАССОВЫМ НАПРАВЛЕННЫМ ВЗРЫВОМ

Работы по сооружению земляных перемычек и плотин методом массового направленного взрыва (МНВ) начались в Советском Союзе с 1935 г. Направленными массовыми взрывами построен ряд перемычек и земляных плотин высотой 8—13,5 *м*, шириной по гребню 8—25 *м* и по низу 50—120 *м*. Длина плотин не велика, 20—23 *м*, что объясняется не только ограниченной дальностью полета взрывного материала, но и заложением зарядов только на одном берегу[1].

На рисунке 188а показана схема направленного выброса скального грунта при постройке плотины. Количество выброшенного взрывом грунта составило 330 тыс. $м^3$. Штриховой линией показана теоретическая эпюра скоростей, а штрих-пунктирной линией—траектория выброса грунта. Очерчены также профили поверхностей до взрыва, после вспомогательного взрыва и после взрыва основного заряда весом 400 *т*.

На ряде объектов использованы кумулятивные заряды; это вызывало расположение зарядов либо на вогнутом берегу, либо требовало обработки берега предварительными взрывами. Последние производились обычно с опережением против основных взрывов на 3—5 секунд.

Представляет большой интерес наращивание плотины из рваного камня и щебня методом МНВ, при котором взрывом 400 *т* ВВ уложено в плотину 330 000 $м^3$ камня. Заряды были расположены на выпуклом берегу; для образования кумулятивной вогнутости было заложено три вспомогательных заряда. На одном из гидроузлов было возведено посредством МНВ 38 000 $м^3$ понура.

При взрывах в лессовом грунте плотность перемычек и плотин получалась примерно близкой к плотности естественного лесса, что обеспечивало достаточную водонепроницаемость сооружений и незначительную фильтра-

---

[1] Г. И. Покровский, И. С. Федоров, М. М. Докучаев. Теория и практика строительства плотин направленными взрывами. Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре. М., 1951; Г. И. Покровский, И. С. Федоров. Действие удара и взрыва в деформируемых средах. Госстройиздат, М., 1957.

цию через них. Значительно увеличивало плотность перемычек предварительное увлажнение взрываемых грунтов.

Крупным преимуществом МНВ является быстрота производства работ (вместе с подготовкой 2—4 дня). Это позволяет быстро ликвидировать аварии, вызываемые завалами грунта. В ряде случаев МНВ позволяет существенно сократить срок строительства в целом, уменьшить количество рабочей силы и механизмов. Производство МНВ возможно в любое время года.

МНВ можно возводить напорные гидротехнические сооружения из грунтов III—IV классов. Наилучшие результаты применения МНВ получались на суженных участках рек с крутыми и высокими, изогнутыми в плане

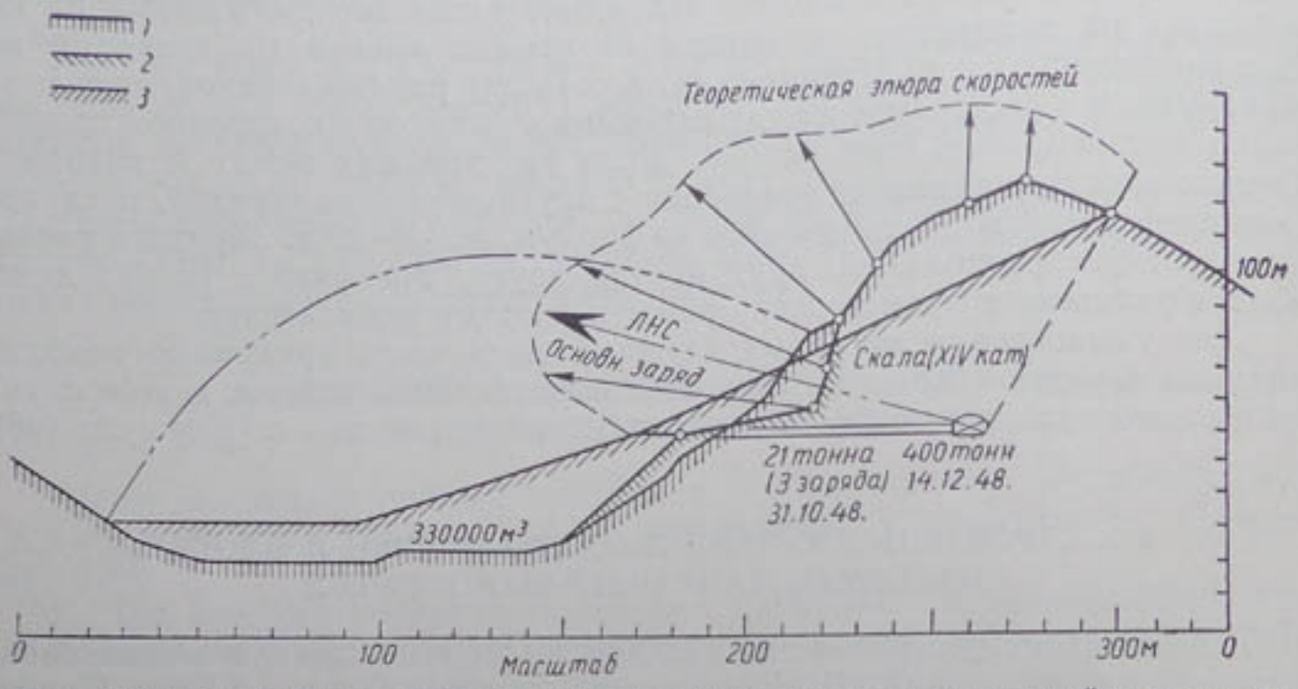


Рис. 190а. Схема направленного выброса грунта взрыва при постройке плотины:
1—первоначальный профиль; *2*—профиль после взрыва вспомогательного заряда; *3*—профиль после взрыва основного заряда.

берегами, сложенными водонепроницаемыми и слаборазмываемыми грунтами (глинами, суглинками), песчано-гравелистыми или скальными грунтами.

Основные положения по проектированию МНВ разработаны на основе теории и опыта производства работ.

Количество рядов зарядов. Однорядное расположение зарядов применяется при крутых берегах, наклоненных не менее 65° к горизонту, что позволяет направлять л.н.с. под углом к горизонту не >25°.

Двухрядное и трехрядное расположения применяются при откосах менее 65° для создания крутого откоса, а также при необходимости пополнения перемычки дополнительным объемом.

Удаление зарядов от груди забоя характеризуется отношением $\frac{w}{H}$, где w — л. н. с., а H — высота обрушаемого массива. При показателе выброса $n=1{,}25$ величина $\frac{w}{n}$, полученная при МНВ для сооружения плотин и перемычек, изменяется от 0,8 до 0,95.

Чем больше принята величина показателя выброса n, тем больше должно быть отношение $\frac{w}{H}$ и наоборот. Поэтому часто назначают $\frac{w}{H}$ в пределах 0,8—1,2.

Расстояние между зарядами a назначается в зависимости от n:

Показатель выброса n	1,0	1,5	2,0
Расстояния между зарядами a	1,0 w	1,25 w	1,5 w

При зарядах рыхления расстояние a принимают от 0,8 до 1 w.

При двухрядном расположении зарядов их размещают один против другого; при трехрядном—заряды среднего ряда располагают в промежутках между зарядами крайних рядов.

Расположение зарядов по высоте. Практически заряды закладывают на отметке гребня перемычек или выше; но на строительстве некоторых перемычек заряды закладывались на уровне горизонта воды, значительно ниже гребня перемычек.

При этом грунт предварительно доводился до влажности 20%, что способствовало смыканию трещин при действии взрыва.

Чтобы избежать затруднений при закладке зарядов под водой, не рекомендуется располагать их ниже горизонта воды.

Определение величины зарядов. Расчет величины зарядов определяется по формуле

$$Q = qw^3(0{,}4 + 0{,}6n^3),$$

получаемой из формулы (99а) при $\alpha = 1$ для стандартнигo аммонита. При взрывах в суглинках и лессовых грунтах для сооружения перемычек q принимался равным от 1,3 до 1,5 *кг/м*³.

Решающее влияние на величину заряда оказывает показатель выброса n. Хотя с увеличением n величина заряда быстро возрастает, но вместе с тем увеличивается отброс породы и процент сброса обрушаемого берега.

В практике строительства перемычек при небольшой ширине перекрываемых русел показатель выброса n принимался равным 1,25.

На строительстве понура одной из ГЭС в целях увеличения дальности выброса показатель n принимался 1,50—1,75.

При МНВ для строительства плотин и перемычек в основном применяется метод камерных зарядов, но в отдельных случаях используют и котловые заряды.

Очередность взрывания зарядов. При одновременном возведении в один день верховой и низовой перемычек сначала взрывались заряды для верховой и уже после спада воды—для низовой; это делалось в целях предотвращения разрушения низовой перемычки при падении породы в преграждаемое русло. В некоторых случаях устраивались временные перемычки, задерживавшие на 15—30 *сек* сток реки, что создавало более благоприятные условия для возведения перемычек.

При двухрядном и трехрядном расположении зарядов они взрывались через 2—5 *сек* ряд за рядом, начиная с ряда, ближайшего к груди забоя.

Сброс породы V (при показателе выброса $n = 1{,}25$) принимался в 50% от объема обрушенной породы V_1. Фактическое отношение объема уложенной породы V и V_1 изменялось от 0,5 до 0,7.

Определение размеров перемычек. Среднее отношение $\frac{h}{w}$ было от 0,55 до 0,68, а $\frac{L}{w}$ — от 2,1 до 3,4, где h — высота перемычки, L — расстояние от центра заряда до наиболее удаленной точки перекрытия по направлению к л. н. с.

§ 10. СТРОИТЕЛЬСТВО КАНАЛОВ ВЗРЫВАМИ

Строительство широких и глубоких (холостых) частей крупных оросительных магистральных каналов, а также больших каналов водосборной и водосбросной сетей, проходящих в выемках, может производиться методом массовых взрывов на двусторонний выброс.

Устройство дренажных каналов в лессовидных суглинках способом взрыва на выброс недопустимо, так как взрыв способствует резкому сокращению водопроницаемости этих грунтов.

В горных районах часто приходится отрывать ирригационные каналы в скальных грунтах; например, на строительстве Арзнишамирамской оросительной системы в Армении почти 90% земляных работ относится к скальным грунтам.

Попытки строителей рыхлить скальные грунты взрыванием шнуров оказались неудачными, так как при этом методе рыхления оно получалось

неполным, что затрудняло работу экскаваторов. От разработки каналов взрывами на выброс также пришлось отказаться, так как вследствие применения большого количества ВВ структура грунта на откосе и дне каналов сильно нарушалась, образовались большие трещины; фильтрация из таких каналов была бы велика.

На строительстве названной системы впервые было применено рыхление «на разбухание» (камуфлет) путем устройства шурфов по оси канала с заложением их на 30—50 *см* выше дна канала. Расход ВВ был 1,4—1,6 *кг/см*³, нарушения дна и откосов канала не наблюдалось. После рыхления взрывами оказалось возможным механизировать разработку грунтов на 70—80%, снизить стоимость работ на 20—30% и повысить производительность труда вдвое.

§ 11. ВЗРЫВЫ НА ВЫБРОС В ТОРФЕ ДЛЯ УСТРОЙСТВА КАНАЛОВ

Практика показала возможность прокладки каналов в торфе путем заложения серий удлиненных зарядов, размещенных в наклонных скважинах (рис. 191). Скважины располагают в один ряд под углом 50° к горизонту, перпендикулярно к оси канала. Глубина канавы $H=0{,}9\ w$, расстояние между скважинами в ряду $a=(1{,}2\div1{,}5)\ w$.

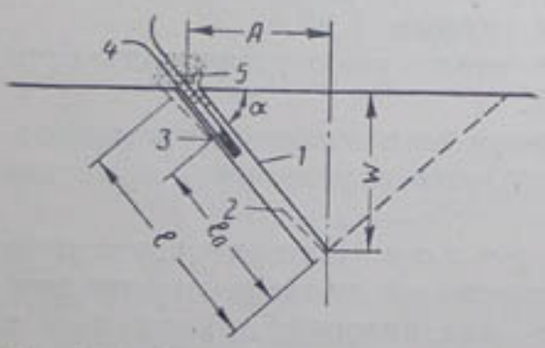


Рис. 191. Расположение скважин при устройстве каналов в торфе:
1—скважина; *2*—заряд ВВ; *3*—электродетонатор; *4*—электропровода; *5*—забойка.

Заряд делается удлиненным, причем его длина $l_0=0{,}79l$, где l—длина скважины в метрах. Диаметр заряда d_0 определяется по формуле:

$$d_0=\sqrt{\frac{0{,}4Q}{\pi l_0\Delta}},$$

где Q — вес заряда ВВ в *кг*;

Δ — плотность ВВ.

Для получения направленного взрыва электродетонатор должен помещаться в верхнем конце заряда.

Заряд рассчитывают по формуле $Q=f(n)\,q\,w^3$, где Q—вес заряда аммонита в *кг*; q—по опытным данным равно 0,74; $f(n)=1{,}2$; 2,1 и 3,66 соответственно при $n=1{,}0$; 1,5; 2,0.

При указанных данных выброс торфяной массы в принятом направлении достигал 79—90%. При $H=1{,}5$ *м* получалась канава глубиной 1,5 *м*, шириной по дну 1,2 *м* и по верху 3 *м*. Развал в сторону максимального выброса достигал 12 *м*, в обратную сторону 8 *м* при максимальном разлете отдельных кусков торфа до 50 *м*.

§ 12. ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ НА ВЫБРОС ПРИ УСТРОЙСТВЕ ДРЕН, КАНАЛОВ И КОЛЛЕКТОРОВ В ОПЛЫВАЮЩИХ ГРУНТАХ

Устройство каналов и коллекторов в оплывающих грунтах с применением обычного в этих условиях глубинного водоотлива связано с крупными расходами. Поэтому большой интерес представляют опыты разработки каналов в этих условиях взрывами.

В оплывающих грунтах взрывание следует вести в два приема. Первое взрывание придает грунту устойчивую структуру, оно сопровождается существенным увеличением объемного веса и уменьшением влажности грунта. Вторичное взрывание создает выемку необходимых размеров.

Для первичного взрыва рекомендуются: показатель выброса, обеспечивающий устойчивую структуру, $n=1{,}2$; глубина заложения заряда $h=H$, где H—проектная глубина выемки; вес заряда $Q=1{,}26\ H^3$; расстояние между зарядами $a=1{,}06\ H$. В этом случае необходимо применять заряды сосредоточенной формы, так как при этом достигается наибольшее сотрясение в низ-

ких горизонтах, обычно наиболее увлажненных и способных к опыливанию. Для глубины 2÷2,2 *м* диаметр скважины следует брать равным 150 *мм* (для аммонита); при больших глубинах диаметр должен увеличиваться.

Для вторичного взрывания вес сосредоточенного заряда $Q=1{,}25\ H^3$; глубина скважин $h=H-P_1$, где P_1—видимая глубина выемки после первичного взрывания; расстояние между скважинами $a=0{,}85H$.

Ряд произведенных взрывов подтвердил эти расчетные положения для коллекторов глубиной 3—3,5 *м*.

Для вторичного взрывания рекомендуется применять удлиненные заряды в вертикальных скважинах, как обеспечивающие в оплывающих грунтах бóльшую относительную глубину выброса, чем сосредоточенные. При аммоните 3Т диаметр заряда $d=75$ *мм*, вес заряда $Q=0{,}785\ d^2l\Delta$, где длина заряда $l=0{,}75L$, расстояние между зарядами $a=14d$.

Взрывы удлиненных зарядов развиваются не в виде столба, почти перпендикулярного к поверхности, как при сосредоточенных зарядах, а в форме веера; вследствие этого процент грунта, падающего обратно в выемку, значительно меньше, чем при сосредоточенных зарядах.

Взрывные работы на выброс при устройстве дренажных каналов следует производить с учетом приведенной выше оговорки в отношении лессовидных суглинков.

§ 13. БОРЬБА С ФИЛЬТРАЦИЕЙ ВОДЫ ИЗ КАНАЛОВ И ВОДОЕМОВ ВЗРЫВНЫМ СПОСОБОМ

Следует различать уплотнения уже построенных невзрывным способом каналов и уплотнения, получаемые в результате взрывов в процессе постройки.

Уменьшение фильтрации из каналов, отрытых теми или иными землеройными машинами, основано на уплотняющем действии на грунты взрывной волны в наполненном водой канале[1].

Сначала разрыхляют грунт по всему периметру канала, наполняют его водой на 1,5—2 суток с тем, чтобы пропитать грунты, образующие ложе каналов, до состояния грунтовой массы. Затем подвешивают небольшие заряды ВВ под воду и производят взрыв. Ударная волна взрыва в неупругой водной среде мгновенно передает энергию удара на дно и откосы канала через воду и слой разрыхленного грунта. Мелкодисперсные частицы грунта проникают вместе с водой в макро- и микропоры подстилающего грунта и закупоривают их.

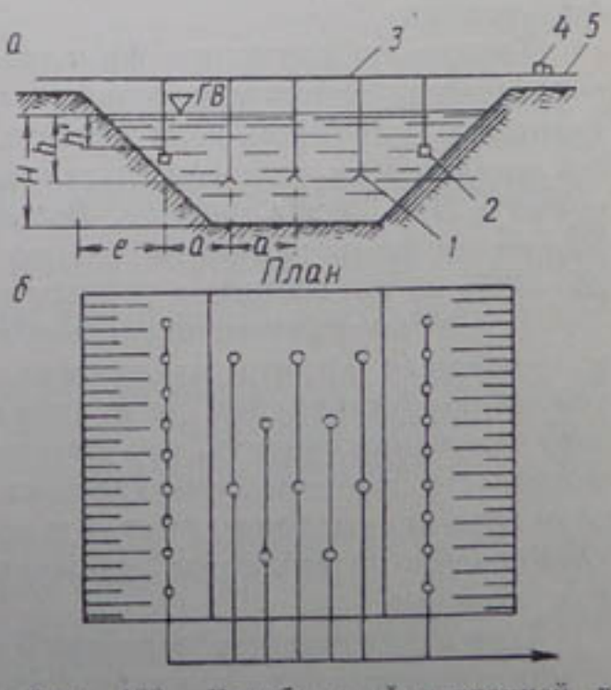


Рис. 192. Борьба с фильтрацией в каналах методом взрывов:

а—схема расположения зарядов в воде для уплотнения дна и откосов выемки; *б*—план; *1*—заряд с кумулятивной выемкой; *2*—заряд ВВ вспомогательный; *3*—детонирующий шнур; *4*—патрон-боевик; *5*—огнепроводный шнур.

Опытные работы производились на канале в выемке в суглинистых грунтах глубиной 1,2 *м*, шириной по дну 2,5 *м* с одиночными откосами (рис. 192).

Заряды погружались в воду на глубину $h=0{,}6\ H$, где H—глубина воды в канале. Расстояние a между зарядами определялось по формуле: $a=2\ (H-h)$. Вес заряда аммонита № 6 равен 75 *г*. Применялись патроны с кумулятивными зарядами (рис. 180).

Так как взрыв зарядов не оказывает необходимого уплотняющего дей-

[1] Д. М. Кушнарев и М. И. Ярушин. Борьба с фильтрацией воды из каналов методом взрыва. «Гидротехническое строительство» № 6, 1956.

ствия на откосы выше центра заряда, что для уплотнения верхних частей откосов подвешивались вспомогательные заряды весом 25 *г*.

В поперечном сечении располагались по три основных заряда и по два вспомогательных. По длине канала основные заряды располагались в шахматном порядке через 1 *м*. Согласно производственным наблюдениям через шесть дней после взрыва скорость фильтрации уменьшилась с 0,30—0,35 до 0,015 *м/сутки*, т. е. в 20—22 раза.

С целью определить влияние предварительного разрыхления грунта по периметру канала были произведены опыты без предварительного рыхления; эффективность взрыва снизилась в 1,8—2 раза, однако она все же оказалась значительной, так как фильтрация уменьшилась в 12 раз.

Коэффициент полезного действия ирригационных систем обычно поднимается не выше 0,40—0,50, чему соответствуют потери в количестве 60—50% от водозабора в голове. Если учесть, что потери на испарение невелики и составляют примерно 5%, то при 12-кратном уменьшении фильтрации к. п. д. ирригационных систем поднимается до 0,90—0,91. Рыхление ложа каналов представляет собой сложную и трудную работу и, как мы видим, она не является обязательной, так как и без рыхления к. п. д. очень резко увеличивается.

Стоимость обработки взрывным способом 1 $м^2$ канала обошлась в 70—80 коп., что во много раз дешевле других способов борьбы с фильтрацией из каналов. Работа простая, не требует сложных механизмов; она может выполняться двумя рабочими: взрывником и его помощником.

Следует пожелать, чтобы этот новый, простой и дешевый способ борьбы с фильтрацией в ирригационных системах, к сожалению мало известный среди гидромелиораторов, получил проверку в каналах разных порядков в различных грунтах и нашел широкое распространение прежде всего в «очагах фильтрации».

Опыты по изучению фильтрации из водоемов в суглинистых грунтах, построенных методом массовых взрывов[1], показали значительные антифильтрационные свойства этих выемок. По сравнению с выемками, выполненными без применения взрывов, установившиеся скорости фильтрации были примерно в 30—35 раз меньше. Весьма важно, что на второй год после взрыва потери на фильтрацию не только не увеличились, но еще уменьшились на 25—30% по сравнению с первым годом.

Дополнительными исследованиями было выяснено, что удаление обратно упавшего грунта из выемки, образованной взрывом, сопровождалось усилением фильтрации до величин, наблюдавшихся в копаной выемке. Это дает основание считать, что уменьшение скорости фильтрации, наблюдающееся во всех выемках, создаваемых взрывами, происходит в основном за счет слоя обратно упавшего грунта и получившегося при падении уплотнения. На уменьшение потерь воды оказывают, конечно, влияние и слои, уплотненные под зарядом.

При строительстве подводной части русловой плотины Каховской гидростанции фактическая плотность намытых песков (1,52÷1,53 $т/м^3$) оказалась ниже требуемой; произведенное доуплотнение песков путем мелких взрывов и вибрирования дало вполне удовлетворительные результаты[2] с повышением плотности до 1,6 $т/м^3$.

§ 14. РЫХЛЕНИЕ СКАЛЬНЫХ ПОРОД ПОД ВОДОЙ[3]

Наиболее распространено рыхление скальных пород под водой накладными зарядами; однако оно требует значительных удельных расходов ВВ

[1] Д. М. Кушнарев. Влияние взрыва на физические свойства грунта. «Гидротехническое строительство» № 6, 1956.

[2] Ф. В. Лухтанов. Новые решения, примененные при проектировании и строительстве Каховской ГЭС. «Гидротехническое строительство» № 2, 1956.

[3] И. С. Серпокрыл. Рыхление скальных пород под водой. «Гидротехническое строительство» № 4, 1955.

в пределах[1] 4,0÷4,5 *кг/м*³. В последнее время при указанных работах начали применять взрывание колонковых скважин диаметром 180 *мм*.

Бурение производится зимой со льда, а летом с понтона. Вместо вычерпывания шлака желонкой применяют гидромонитор со специальным устройством сопла (рис. 193).

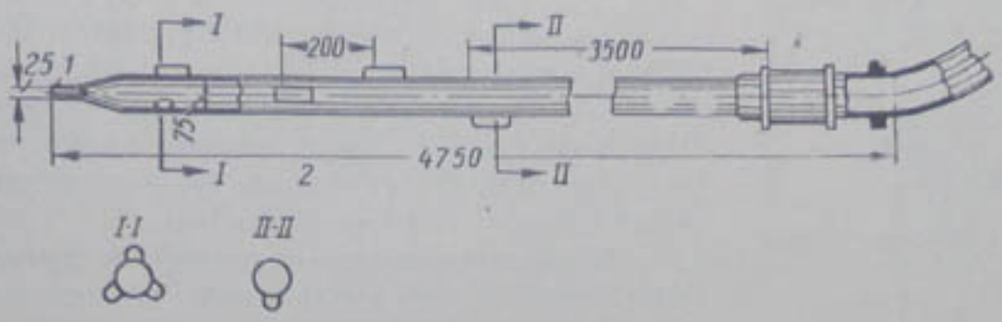


Рис. 193. Гидромонитор для промывки скважин:
1—сопло; *2*—трубки.

Для взрывания применяют аммониты № 6 и № 7, взрыв производится детонирующим шнуром. При взрыве с лодки в качестве начального инициатора применялись капсюли-детонаторы, а при взрыве с берега—электродетонаторы.

Величина заряда Q подсчитывается по формуле:

$$Q = qKw^3,$$

где q — удельный расход ВВ, равный 0,55 *кг/м*³;
w — расстояние от центра заряда до устья скважины в *м*;
K — коэффициент, учитывающий плотность забойки. Значения K приведены ниже:

Глубина разработки в *м*	1,0	1,5	2,0	3,0	>3,0
K	2,0	1,8	1,5	1,1	1,0

Расстояние между рядами скважин $0{,}6H$, а между скважинами $0{,}8H$.

§ 15. УВЕЛИЧЕНИЕ ДЕБИТА СКВАЖИН КОТЛОВЫМИ ВЗРЫВАМИ[2]

Одна из скважин в трещиноватом, крепком известняке в Рязанской области, глубиной 68 *м*, давала дебит 1 *м*³/*час*, что было недостаточно, и требовалось увеличить ее дебит в два раза. С этой целью было применено торпедирование скважины.

В пределах водиного столба были заложены пять торпед через 3 *м* одна от другой; они взрывались по одной, начиная с нижней.

Торпеды представляли собой асбоцементные трубы, закрытые с обеих сторон пробками с прокладкой битума и бумаги. Снаружи трубы покрывались жирным бетоном для изоляции их (рис. 194); диаметр торпеды брался на 20—30 *мм* меньше диаметра долота.

Вес заряда определяли, исходя из необходимости создания сферы трещинообразования радиусом в 2 *м* от центра взрыва, по формуле:

$$c = \left(\frac{R}{K_р}\right)^2, \qquad (111)$$

где R — радиус сферы трещинообразования;
$K_р$ — коэффициент; для трещиноватого крепкого известняка $K_р = 0{,}85$.

---

[1] Э. Г. Годес. Эффективный способ подводных работ. «Строительная промышленность» № 7, 1956.

[2] В. М. Тавризов. Увеличение дебита скважин взрывным методом. «Гидротехника и мелиорация» № 7, 1952.

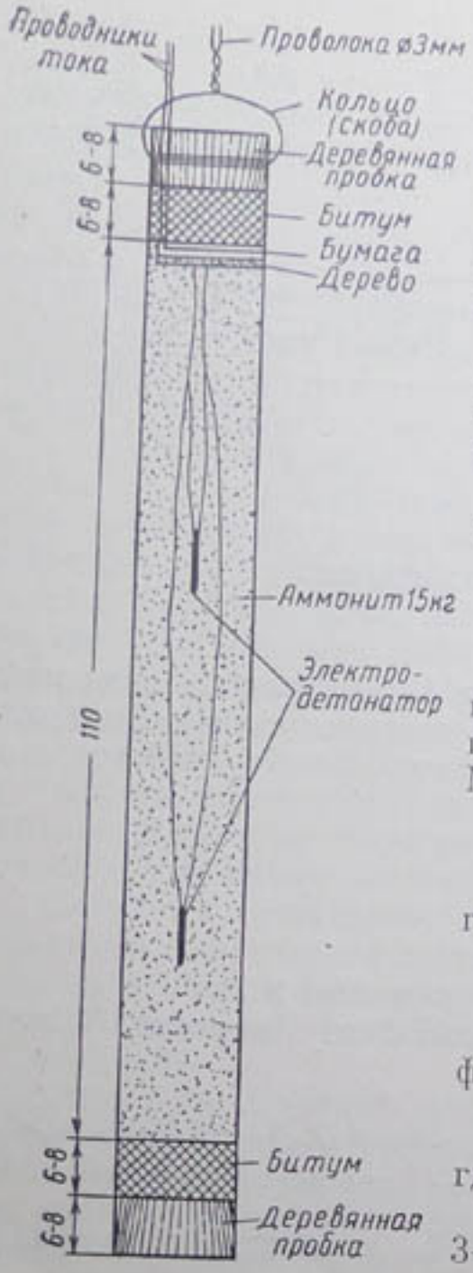


Рис. 194. Разрез торпеды из асбоцементной трубы (размеры в *см*).

Расстояние l между центрами зарядов определялось по формуле: $l=2R$. Вместо расчетного расстояния $l=4$ *м* заряды располагались через 3 *м* с расчетом некоторого перекрытия сфер трещинообразования.

Торпеды взрывались электрическим способом по одной от электродетонаторов. Для взрыва применялся аммонит № 2Т, вес зарядов по 15 *кг*.

От каждого взрыва скважину засыпало на 1,6 *м* по высоте. После взрыва скважины очищались долотом. Благодаря торпедированию дебит увеличился с 1 до 2,5 $м^3/час$.

Торпедирование—выгодное и простое решение вопроса об увеличении дебита скважины.

§ 16. ШПУРЫ

Число шпуров, необходимое для проходки шурфа или камеры, определяется по удельному их числу m на 1 $м^2$ площади забоя по формуле М. М. Протодьякова:

$$m = 2{,}7\,\frac{\sqrt{f}}{S}, \qquad (112)$$

где f — крепость породы по шкале М. М. Протодьякова;

S — площадь забоя в $м^2$.

Глубина шпуров $l_{шп}$ (в *м*) определяется по формуле:

$$l_{шп} = (0{,}6 \div 0{,}8)\,b,$$

где b — ширина забоя в *м*.

Конечный диаметр шпура должен быть на 3—4 *мм* больше диаметра патрона ВВ.

Шпуры бывают врубовые *1*, вспомогательные *2* и отбойные *3*, *4* и *5* (рис. 195).

Назначение врубовых шпуров состоит в создании второй плоскости обнажения путем устройства в забое углубления достаточных размеров. Врубовые шпуры имеют наклон к плоскости обнажения; они взрываются в первую очередь. Глубина их на 15—20 *см* больше глубины отбойных шпуров.

Вспомогательные шпуры предназначены для разрушения остальной породы площади забоя, а отбойные служат для придания забою необходимого контура. Вспомогательные шпуры делают только при крепких породах и больших площадях забоя; отбойные шпуры располагают на 0,10—0,15 *м* от контура выемки. И те, и другие шпуры располагают с небольшим наклоном: вспомогательные—в сторону вруба, отбойные—в сторону контура.

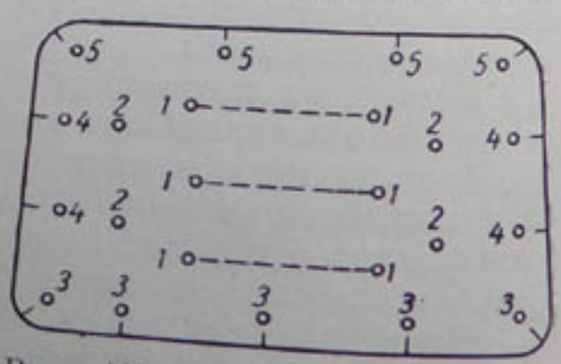


Рис. 195. Расположение шпуров при горизонтальной выработке:
1—шпуры клинового вруба; *2*—вспомогательные шпуры; *3*, *4* и *5*—отбойные донные, боковые и кровельные шпуры.

§ 17. ОБОРУДОВАНИЕ ЗАРЯДНЫХ КАМЕР И ПОДГОТОВКА ВВ

Так как для массовых взрывов используются главным образом аммониты и аммиачная селитра, весьма гигроскопичные и теряющие свои взрывчатые свойства при переувлажнении, то зарядные камеры следует обшивать досками и обкладывать толем с промазкой битумом.

Патроны-боевики помещают в центре заряда; при применении нескольких ВВ в центре заряда располагают ВВ с наибольшей скоростью детонации (аммонит), а по бокам аммиачную селитру (рис. 196). Количество боевиков не менее двух при весе зарядов до 5 *т* и не менее трех при весе от 5 до 15 *т*; при весе заряда свыше 15 *т* на каждые 5 *т* следует прибавлять по боевику.

Для предотвращения слеживаемости ВВ типа аммонитов следует делить камеру на вертикальные отсеки с горизонтальными перегородками. Для устройства вертикальных отсеков пользуются заводскими ящиками ВВ и между ними на высоту 0,5—1 *м* засыпают порошкообразное ВВ; над ящиками прокладывают листы фанеры. При этом вес порошкообразного ВВ передается на ящики, что значительно уменьшает слеживаемость ВВ.

Если аммониты содержат более 1,5% влаги, а аммиачная селитра более 1%, то перед укладкой их необходимо просушивать; спекшуюся аммиачную селитру, кроме того, нужно измельчать с тем, чтобы крупность отдельных зерен была не больше 10 *мм*.

Шурфы и штольни должны быть забиты на все сечение забойкой из глины с песком в пропорции 1 : 3, тщательно утрамбованной слоями в 1 *м*. Над устьем шурфа делают шапку из породы высотой 1—1,5 *м*. Можно производить забойку и вынутой из шурфа землей или породой с забивкой первых 2—3 *м* песком или землей.

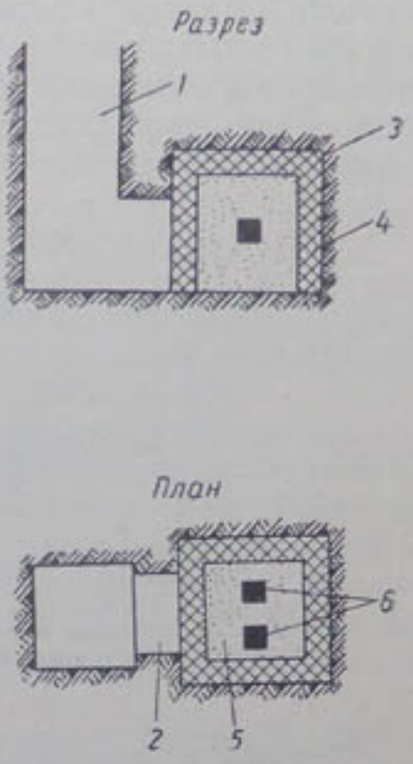


Рис. 196. Размещение зарядов в камере:
1—шурф; *2*—ходок; *3*—камера; *4*—аммиачная селитра; *5*—аммонит; *6*—боевики.

Для обеспечения взрыва всех зарядов при массовых взрывах применяют дублирование сетей либо двумя аналогичными по способу соединения и одинаковыми по сопротивлению взрывными сетями, либо дублированием электровзрывной сети сетью детонирующего шнура. Кроме того, при прокладке сети принимают меры для защиты ее от повреждения и повторно проверяют ее исправность.

О результатах массового взрыва составляют технический отчет.

§ 18. ВЗРЫВЫ НА ОБРУШЕНИЕ

Взрывы на обрушение уступов в горном деле и забоев при экскаваторных работах можно производить: 1) взрыванием шпуров, минных колодцев и галерей; 2) колонковыми зарядами. Первый способ невыгоден из-за малой глубины шпуров, небольшого объема разрушаемой породы и значительно большего удельного объема буровых работ (на 1 $м^3$ взорванной породы). При массовых взрывах на обрушение более выгодно применять метод камерных зарядов, заряжаемых либо из шурфов, либо из штолен (рис. 197, *а*), или колонковые заряды (197, *б*), располагаемые в скважинах, пробуриваемых станками канатно-ударного бурения. Глубина скважин изменяется от 10 до 25 *м*, а в некоторых случаях доходит до 90 *м*; диаметр скважин равен 75 ÷ 200 *мм*.

Угол откоса уступа должен быть возможно круче с тем, чтобы расстояние скважины по линии подошвы забоя не было слишком велико для отрыва породы в плоскости подошвы забоя. Практически этот угол колеблется от 50 до 70°. Иногда в помощь вертикальной скважине делают еще вспомогательные наклонные шпуры у подошвы забоя. Для того чтобы после взрыва в забое не оставалось уступа, скважину бурят с перебуром ниже подошвы; глубина перебура зависит от твердости породы и от л. с. п. (линии сопротивления по подошве). По некоторым данным, перебур играет важную роль в получе-

нии крутых откосов. В глинах, а также при горизонтальных напластованиях пород перебура не делают. По данным опыта нескольких десятков массовых обрушений, л. н. с. может доходить до 0,80—0,85 от величины уступа. Обследование 325 массовых взрывов, давших наилучшие результаты, показало, что в 99% из них расстояние между зарядами изменялось от 0,43 до 1,4 л.н.с., а в 80% случаев в пределах (0,80 ÷ 1,20) л.н.с. Расстояние между зарядами скважин принимают в пределах (0,7÷0,8) л.н.с. зарядов первого ряда скважин. Скважины соседних рядов располагают в шахматном порядке.

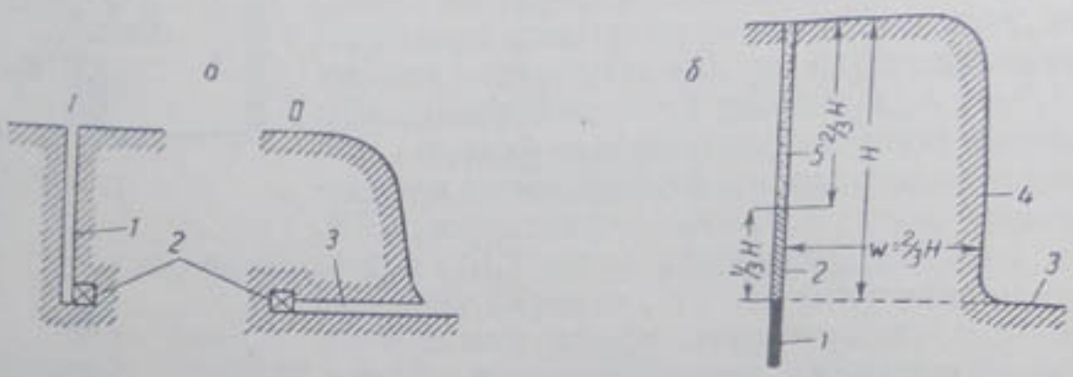


Рис. 197. Размещение зарядов при взрывах на обрушение:
а—камерные заряды: *I*—с минным колодцем; *II*—с минной штольней. *1*—минный колодец; *2*—заряд; *3*—минная штольня. *б*—рассредоточенный заряд в глубокой скважине: *1*—заряд перебура; *2*—заряд скважины; *3* и *4*—подошва и грудь забоя; *5*—забойка.

Заряды в скважинах часто располагают с промежутками из забойки; такие заряды называются рассредоточенными. Преимущество рассредоточенных зарядов перед сплошными состоит в том, что при них взрыв дробит породу более равномерно по длине скважин.

Рыхлением грунтов мелкими шпурами подготавливается небольшой фронт работ—на 1—2 смены. Массовым обрушением пород можно разрыхлить забой для 10—15-дневной работы экскаватора. Это увеличивает коэффициент использования экскаваторов во времени, что является крупным достоинством массовых обрушений.

§ 19. КОРОТКО-ЗАМЕДЛЕННОЕ ВЗРЫВАНИЕ

Сущность коротко-замедленного взрывания[1] заключается в том, что несколько зарядов ВВ, помещенных в скальные породы, взрываются двумя-тремя сериями с замедлением между ними в 0,01—0,07 *сек*. В результате взаимного положения взрывных волн и гашения их улучшаются дробление породы и технико-экономические показатели взрывных работ, уменьшается сейсмическое воздействие взрывов.

Коротко-замедленное взрывание отличается от обычного, замедленного с интервалами от двух и более секунд, значительно меньшими промежутками между взрывами.

На Куйбышевгидрострое коротко-замедленное взрывание было применено с большим успехом с 1954 г.

На Сохском карьере расстояние между скважинами было около 9 *м* против 4,5 *м* при мгновенном взрывании. Удельный расход ВВ сократился с 0,48 *кг/м*^{3} при мгновенном взрывании до 0,34 *кг/м*^{3}, или на 30%, а стоимость буро-взрывных работ уменьшилась на 49%. Почти вдвое возрос заряд одной скважины, увеличилось количество одновременно взрываемого вещества, бурение скважин сократилось в три раза, а стоимость 1 *м*^{3} буро-взрывных работ снизилась до 0,90 руб.

На карьере Яблоновый овраг Куйбышевгидростроя, где обычный мгновенный способ взрывания применялся более успешно, чем на Сохском

---

[1] В. В. Оболенский. Коротко-замедленное взрывание. Оргэнергострой—Куйбышевское областное издательство 1956.

карьере, расход ВВ при коротко-замедленном взрывании уменьшился на 20%, выход породы на 1 пог. *м* скважины увеличился на 78%, расход ВВ и общая стоимость буро-взрывных работ снизились на 20%.

В зарубежной практике коротко-замедленное взрывание получило широкое распространение. Количество степеней замедления достигает 20. Интервал замедления, сетку скважин и сорт ВВ определяют экспериментально.

В последнее время в США, Канаде и Англии увеличивают расстояния между зарядами. Однако на большинстве зарубежных карьеров расстояние между скважинами не превышает длины линии сопротивления по подошве.

§ 20. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Общие условия. Производство взрывных работ при строительстве гидромелиоративных систем и сооружений допускается при условии соблюдения «Единых правил безопасности при ведении взрывных работ»[1].

Производство взрывных работ разрешается лишь после проведения всех подготовительных мероприятий, обеспечивающих безопасность взрывов, в том числе: организации безопасной доставки и хранения ВМ; обеспечения сохранности сооружений, зданий и оборудования, расположенных в опасной зоне; удаления людей и животных за пределы опасной зоны; оповещения населения и организаций о предстоящих взрывах; разъяснения значения предупредительных знаков и сигналов; организации охраны опасной зоны.

При взрывных работах должны применяться только те ВВ и СВ, которые указаны в «Единых правилах безопасности при ведении взрывных работ». Применение отходов ВВ или других видов ВВ допускается по согласованию с органами горного надзора и при условии производства работ на основе специальных указаний и инструкций.

К руководству взрывными работами допускаются лица с законченным горнотехническим образованием или лица, закончившие учебные заведения или курсы, дающие право ответственного ведения горных или взрывных работ.

К производству взрывных работ допускаются лица не моложе 19 лет, с образованием не ниже 7 классов, сдавшие экзамен специальной квалификационной комиссии; для получения права производства взрывных работ в подземных условиях требуется наличие стажа не менее одного года.

Транспортирование ВМ средствами предприятий. Перевозка, получение и приемка ВМ на станциях железных дорог и пристанях должны производиться, согласно инструкции, на специально отведенном, огражденном и охраняемом месте под руководством специально назначенного лица.

ВВ, различные по степени опасности при перевозке и хранении, должны перевозиться раздельно. Все ВМ принимаются к перевозке в исправной заводской упаковке.

Вагоны и трюмы судов, предназначенные для перевозки ВМ, должны быть исправны и тщательно осмотрены, очищены и проверены. Места погрузки и разгрузки должны находиться не ближе 100 *м* от жилых и производственных зданий и не ближе 50 *м* от главных станционных путей, а на пристанях и портах—не ближе 250 *м*.

Перевозка ВМ по железной дороге разрешается только в крытых вагонах либо целыми поездами, либо в отдельных вагонах, под вооруженной охраной; на них наклеиваются крупные плакаты «опасно». Отцепленные вагоны должны быть сцеплены, заторможены, подклинены и ограждены сигналами.

Перевозка ВМ разрешается водным транспортом: грузовыми судами, моторными катерами, газоходами, лодками и паромами; перевозка ВМ на пло-

---

[1] Единые правила безопасности при взрывных работах. Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, М., 1958.

тах запрещается. Судам во время перевозки ВМ запрещается буксировать другие суда.

Суда должны быть оборудованы грозозащитой и противопожарными средствами.

Перевозка пассажиров и посторонних лиц на всякого рода судах, груженных ВМ, запрещается.

Перевозка ВМ ручной кладью допускается лишь по специальному разрешению милиции, но не в пассажирских поездах.

Перевозки ВМ по шоссейным и грунтовым дорогам могут производиться автомобильным и гужевым транспортом или на вьюках при обязательном сопровождении ответственного лица и вооруженной охраны. К управлению автомашинами, предназначенными для перевозки ВМ, допускаются только шоферы, прошедшие специальный инструктаж. Запрещается перевозить ВМ в газогенераторных автомобилях, в автобусах общего пользования, в автомобилях, метро, трамваях и повозках с пассажирами. Расстояние между автомашинами, груженными ВМ, на ровной местности должно быть не менее 50 *м*, а при спусках и подъемах—не менее 300 *м*. Расстояние между повозками при ровной местности—не менее 20 *м*, а при спусках и подъемах—не менее 100 *м*. Скорость движения автомашин—не более 20 *км* при хорошей видимости, а при туманах и во время пурги уменьшается вдвое. Гужевой и вьючный транспорт должны двигаться шагом. Запрещается перевозить в автомобилях, повозках или вьюках вместе с ВМ другой груз, кроме взрывных машинок, приборов и мягких инструментов, необходимых при взрывании.

Безопасные расстояния. Для защиты зданий и сооружений от сейсмического воздействия величины зарядов ВВ должны лимитироваться. Безопасные расстояния, при которых колебания грунта при взрывах не оказывают разрушительного действия на расположенные в зоне работ здания и сооружения, а также расстояния между расположенными на поверхности отдельными хранилищами с ВМ или отдельными площадками с открыто расположенными штабелями ВВ, обеспечивающие невозможность передачи детонации от заряда, хранилища, штабеля к другому заряду, определяются в соответствии с указаниями «Единых правил безопасности при ведении взрывных работ».

Безопасные расстояния для людей по поражающему действию осколков или обломков должны устанавливаться проектом организации работ (при камерных, скважинных и котловых зарядах) или определяться руководителем взрывных работ.

Устройство складов ВМ. Склады для хранения ВМ должны строиться по проектам в соответствии с требованиями «Единых правил безопасности». Склады ВМ разрешается устраивать: поверхностные (основание хранилища расположено на поверхности земли), полууглубленные (здание заглублено не более чем до карниза), углубленные (толща грунта над хранилищем менее 15 *м*) и подземные (толща грунта над хранилищем более 15 *м*).

В зависимости от срока службы склады могут быть постоянными—при сроке службы более двух лет, временные—со сроком службы до двух лет и кратковременные—со сроком службы до шести месяцев.

Склады для хранения ВМ разделяются на базисные и расходные. Базисные служат исключительно для снабжения ВМ расходных складов; в них запрещается распаковка ВМ для раздачи их взрывникам. Расходные склады служат для раздачи ВМ. В постоянных расходных складах выдача взрывникам ВМ производится либо в тамбурах, либо в отдельном помещении. Совместное хранение в одном хранилище различных групп ВМ допускается лишь в исключительных случаях с разрешения вышестоящей организации.

Хранение ВМ на местах производства работ. Доставленные к местам работ ВМ не должны оставляться перед заряжением без надзора или охраны.

Разрешается хранить ВМ в размере суточного запаса вне опасной зоны и в размере сменного запаса—в пределах опасной зоны; исключение представляют случаи применения камерных зарядов, когда в опасной зоне (непо-

средственно у шурфа или штольни) может храниться под охраной подлежащий заряжению заряд ВВ, но без средств взрывания или боевиков.

Запас ВМ вне опасной зоны разрешается помещать до заряжения в естественных или искусственных укрытиях, в повозках, автомобилях, вагонах, несамоходных судах.

При хранении в опасной зоне ВМ должны быть надежно защищены от разлета осколков в естественных или искусственных укрытиях; люди должны находиться в отдельных укрытиях.

При производстве взрывных работ в пределах городской черты или внутри промышленных сооружений суточный запас ВМ разрешается хранить внутри или вблизи объекта, в котором производятся взрывные работы, в изолированном и охраняемом помещении.

При методе шнуровых зарядов ВМ должны находиться перед заряжением в подземных выработках в сумках у забоя под непосредственным наблюдением взрывника или подносчика, но в стороне от места взрыва.

Порядок приема, отпуска и учета ВМ устанавливается согласно инструкции «Единых правил безопасности»; взрывники, не имеющие возможности возвращаться на свою базу в день выдачи ВМ, должны отчитываться в расходовании ВМ по возвращении.

Испытание ВМ. Взрывчатые материалы должны подвергаться испытаниям по определению их пригодности для хранения и применения при взрывных работах, как при поступлении на склад, так и периодически в процессе хранения. Испытания производятся согласно инструкции «Единых правил безопасности». Если ВВ и СВ поступают на склады предприятия непосредственно от заводов-изготовителей при наличии сертификатов или с базисных складов в исправной таре, то испытания при приемке могут не производиться.

Периодические испытания ВМ на складах предприятий должны производиться в следующие сроки:

а) динамиты в конце гарантийного срока и каждый месяц после истечения гарантийного срока;

б) другие ВВ и СВ испытываются в конце гарантийного срока и каждые полгода после истечения гарантийного срока, кроме проверки электродетонаторов на токопроводимость;

в) все ВМ, вне зависимости от сроков их хранения, если возникают сомнения в их доброкачественности.

Уничтожение ВМ разрешается производить взрыванием, сжиганием, потоплением, растворением в воде. Уничтожение ВМ выполняется по письменному распоряжению главного инженера или руководителя взрывных работ. Уничтожение обрезков огнепроводного шнура, детонирующего шнура и сметок ВВ производится ежедневно. Уничтожением ВМ должен руководить заведующий складом ВМ или руководитель взрывных работ.

§ 21. ПРИМЕНЕНИЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОМ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Применение на гидромелиоративном строительстве массовых взрывов выгодно по следующим соображениям: 1) сокращаются сроки производства работ; 2) уменьшается потребность в рабочей силе; 3) снижается стоимость разработки грунта в связи с механизацией подготовительных работ и усовершенствованием техники производства массовых взрывов.

На строительстве гидротехнических и гидромелиоративных сооружений массовые взрывы на выброс могут применяться при производстве выемок магистральных каналов, распределителей, водосбросных и водосборных каналов, подводящих и отводящих каналов к плотинам, шлюзам и гидростанциям, котлованов гидротехнических сооружений.

Для тех сооружений, основание которых не должно подвергаться рыхлящему действию взрывов, например котлованов, в которых структура основания должна сохраняться без трещин и разрыхления, при расчете взрывов

необходимо предусматривать оставление защитной подушки, в соответствии с чем длину л.н.с. нужно назначать менее глубины выемки. Оставленную подушку следует разрабатывать без применения взрывов. Ирригационные магистральные каналы, распределители, водосборные и сбросные каналы, а также подводящие и отводящие каналы гидроузлов можно разрабатывать взрывами сразу на всю проектную их глубину. До массовых взрывов на выброс при проходке открытых дрен должны быть поставлены опыты по изучению влияния взрывов на водоотдачу из почвогрунтов. Опыты по проведению дрен взрывным способом в Голодной степи и других местах показали значительно меньшую (в пять раз) водоотдачу в дрены по сравнению с обычной открытой проходкой. Весьма интересны работы по проходке взрывным способом открытых дрен в оплывающих грунтах, в которых проведение дрен иным способом встречает большие затруднения.

Взрывной способ для прокладки рабочих частей магистральных и распределительных оросительных каналов несколько ограничивается. Во-первых, грунт из выемки должен использоваться на образование дамб; вследствие этого выемку надо разрабатывать слоями, а не сразу на всю глубину, как при производстве взрывных работ; указанное ограничение отпадает при невысоких дамбах. Во-вторых, после взрыва необходимы доработки, что удорожает стоимость отрывки каналов.

Однако при новейших опытных взрывных работах на постройке оросительных каналов сечение как в продольном, так и поперечном профиле получается почти без недоборов, а дополнительное уплотнение может быть произведено уже после наполнения каналов водой мелкими взрывами зарядов, расположенных в воде.

В песчаных грунтах эффект взрыва меньше, чем в суглинках; поэтому каналы в связных грунтах служат более подходящими объектами для взрывов, чем в песчаных и супесчаных.

Взрывы на выброс могут применяться также при вскрыше карьеров и устройстве въездов и выездов из карьеров, котлованов и выемок.

При производстве работ в зимних условиях следует применять рыхление мерзлых грунтов взрывами как при экскаваторных работах, так и при других способах производства земляных работ. Практика строительства канала имени Москвы, Волгодонстроя и других объектов, где в широком масштабе применяли рыхление при земляных работах, вполне подтвердила технико-экономическую рациональность этого мероприятия. Рыхление широко применялось и летом при разработке тяжелых грунтов (морена, тяжелые суглинки).

Взрывами удаляют пни, что обходится дешевле корчевки корчевальными машинами. Взрывные работы применяются и при рытье ям для телеграфных и других столбов в плотных, вязких и влажных грунтах.

Магистральные и сетевые осушительные каналы проходят обычно в выемках, поэтому здесь можно применять взрывы на выброс, особенно на пнистых болотах, где трудно механизировать работы. Для уточнения вопроса о влиянии взрывов на дренирующую способность осушителей в торфах следует проводить опыты. Массовые взрывы с успехом применяют при спрямлении и расчистках русел водоприемников.

Взрывы на выброс применяют и на строительстве колхозных гидростанций для разработки котлованов и устройства подводящих и отводящих каналов. Применение здесь других видов механизации затрудняется из-за небольшого объема работ и отдаленности объектов от крупных центров.

Значительное применение должны получить взрывные работы на выброс и при постройке судоходных каналов, обычно проходящих в выемках.

В последние годы взрывные работы начали применяться при постройке небольших плотин и перемычек на сброс.

Так как около 20—30% стоимости взрывных работ относятся к подготовительным (бурение скважин, отрывка шурфов, траншей), то их целесообразно механизировать.

Глава XII

ВОЗВЕДЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ НАСЫПЕЙ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Условимся называть качественными такие насыпи в гидротехническом и гидромелиоративном строительстве, которые выдерживают напор воды.

К качественным насыпям относятся земляные плотины, приканальные дамбы, дамбы обвалования и обратные засыпки пазух гидротехнических сооружений. Земляные плотины имеют нередко значительную высоту (до 135 *м*); дамбы, при большой их протяженности, имеют сравнительно небольшую высоту и ограниченную ширину.

К качественным насыпям предъявляются следующие основные требования: 1) соответствие коэффициента фильтрации грунта в насыпи заданному по проекту; 2) устойчивость насыпи после нагрузки водой; 3) минимальная осадка насыпи.

Этими требованиями определяется как выбор подходящих для насыпи грунтов, так и надлежащее их уплотнение.

Как показали исследования и опыт постройки земляных плотин, наилучшее уплотнение получается при оптимальной влажности грунтов, обеспечивающей минимум пористости уплотненного грунта и, как следствие этого, минимальное значение коэффициента фильтрации и максимальную устойчивость грунта после его насыщения водой.

§ 2. ГРУНТЫ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ НАСЫПЕЙ

Качественные насыпи гидротехнических сооружений следует возводить из грунтов, находящихся вблизи постройки: песков, супесей, суглинков, глины, торфа. Предварительными исследованиями нужно установить пригодность этих грунтов для тех или иных частей насыпей и требования по их насыпке и уплотнению.

Практика и исследования (строительство Ортокойской плотины на р. Чу) показали возможность сооружения укатанных плотин из крупнообломочных грунтов без дорогостоящих экранов и подэкранных оснований.

Неподходящими грунтами для возведения качественных насыпей являются илы, плывуны, грунты с содержанием воднорастворимых примесей (более 2%), молодой, слабо разложившийся торф. Хорошо разложившийся торф, представляющий аморфную массу с незначительным количеством растительных остатков в виде включений, пригоден для устройства понуров (степень разложения более 50%), экранов (степень разложения 60—95%) и приканальных дамб высотой до 8 *м*[1].

Некоторые иностранные специалисты считают лессовые грунты непригодными для постройки земляных плотин из-за значительного содержания в них пылеватых фракций и интенсивного размокания при напитывании их водой. Теоретические работы и практика плотиностроения в СССР показали ошибочность этой точки зрения.

Две Сталиногорские плотины высотой около 20 *м* каждая возведены из лессовидных суглинков с содержанием 86% пылеватых частиц. Боз-Суйская плотина высотой около 20 *м* выполнена из лессовидных суглинков с содержанием 58% пылеватых частиц. На основе использования удачного опыта постройки и эксплуатации Боз-Суйской плотины в Средней Азии возведен из лессовых грунтов ряд земляных плотин высотой от 11 до 27,5 *м*, объемом от 25 до 600 тыс. $м^3$.

Из лессовых суглинков возведена Катта-Курганская плотина высотой 32 *м* с объемом работ 7,4 млн. $м^3$, причем хорошее состояние ранее возведенных земляных плотин и дамб из лессовых грунтов дало основание облегчить

---

[1] Канал Москва—Волга. Торф в строительстве. Госстройиздат, 1940.

профиль этой плотины—принять заложение низовых откосов 1 : 3 ÷ 1 : 4, вместо ранее намечавшегося 1 : 6 ÷ 1 : 9. На основе этого опыта можно считать доказанной возможность строить высокие лессовые плотины при надлежащем их уплотнении и конструировании с учетом особенности лессовых грунтов.

Однако простой перечень грунтов, подходящих для устройства плотин, является недостаточным для характеристики их пригодности как материала для постройки земляных плотин и других качественных насыпей.

Известно, что физико-механические свойства грунтов меняются в зависимости от их влажности. Особенно чувствительны к влажности суглинистые и глинистые грунты, состояние которых может изменяться от твердого, со значительным сопротивлением раздавливанию и сдвигу, до жидкой грязи. Переувлажненные связные грунты являются неподходящим материалом для возведения плотин и других качественных насыпей.

Сухие связные грунты после надлежащего их увлажнения могут быть доведены до плотного и прочного состояния.

§ 3. ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ УПЛОТНЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ НАСЫПЕЙ

Для выполнения основных требований при уплотнении качественных гидротехнических насыпей и получения должного эффекта уплотнения надо в первую очередь:

1) выяснить необходимую плотность грунта в теле насыпи;

2) выбрать наиболее эффективный для данных грунтов способ уплотнения (тип уплотняющей машины и основные параметры ее работы);

3) установить требуемую толщину уплотняемых слоев;

4) определить необходимое число проходок уплотняющей машины для получения требуемой плотности грунта;

5) определить производительность уплотняющих машин и технико-экономическую рациональность их применения.

При разрешении указанных вопросов огромное влияние оказывает характер уплотняемых грунтов.

Глинистые грунты и суглинки относятся к категории связных грунтов; они имеют тонкодисперсное строение, обладают высокой связностью частиц (сцеплением). Удельная поверхность их частиц значительно выше, чем у несвязных грунтов.

Способность глинистых частиц к слипанию приводит к образованию агрегатной структуры.

При уплотнении грунтов машинами приходится иметь дело с разрыхленными грунтами, в которых под влиянием воздействия землеройных машин произошел распад сплошной массы на отдельные зерна и комья; однако этот распад происходит по наиболее гидрофильным поверхностям, а структура и сцепление внутри комьев сохраняются в прежнем виде. Уплотнение грунтов машинами сопряжено с приложением к ним быстродействующей, повторяющейся цикличной нагрузки; под влиянием ее некоторые грунты существенно изменяют свои свойства. Это явление носит название тиксотропии. Коллоидные пленки студня (гели), связанные друг с другом и водой в пространственную структуру, под влиянием встряхивания переходят в состояние неправильной структуры со значительным понижением связности (золи). Золи обладают малой устойчивостью, и после длительного покоя грунты восстанавливают свои свойства. Явление тиксотропии имеет место, если грунты содержат значительное количество воды и некоторая часть их частиц имеет размеры меньше 0,005 *мм*. Песок обнаруживает тиксотропные свойства при содержании глины более 2%.

Так как сцепление частиц внутри агрегатов значительно превосходит сцепление между агрегатами, то при деформации связных грунтов под влиянием уплотнения сначала в основном перемещаются агрегаты, а затем уже отдельные частицы внутри них.

Опытным путем установлено, что в результате перемещений такого рода происходит переход частиц из хаотического состояния в устойчивое и грунт получает устойчивую структуру. Наряду с взаимоперемещением происходит и деформация самих частиц; однако при тех усилиях, которые имеют место в процессе уплотнения, эти деформации весьма малы и можно все изменение объема грунта при уплотнении отнести за счет взаимоперемещений его частиц.

Изменение формы пленок, происходящее под влиянием уплотняющих нагрузок, ввиду значительной их вязкости происходит медленно; поэтому под влиянием быстро меняющейся циклической нагрузки при уплотнении деформация уплотняемых грунтов отстает от роста напряжений.

В несвязных грунтах, имеющих значительно меньшее количество глинистых частиц, вязкие свойства проявляются в значительно меньшей степени; в основе механизма деформации лежит уже не изменение формы пленок, а внутреннее трение, сильно тормозящее развитие деформаций. Эффективность уплотнения, определяемая в конечном счете величиной пластической деформации, меняющейся с изменением объема, зависит от параметров циклической нагрузки и числа ее повторностей.

К числу параметров нагрузки относятся: максимальная величина напряжений, скорости изменения напряженного состояния и общее время, в течение которого грунт находится под напряжением. При повторяющейся нагрузке имеет также значение частота приложения нагрузки.

В таблице 31 приведены приблизительные значения параметров циклической нагрузки на основании опытных данных применительно к концу уплотнения для грунтов оптимальной влажности.

Таблица 31

Метод уплотнения	Максимальное напряжение в кг/см²	Общее время напряженного состояния грунта в сек
Укатка (катками с гладкими барабанами)	7—12	0,04—0,25
Трамбование	5—18	0,008—0,011
Вибрирование	0,3—0,9	0,01—0,03

Опыты показали, что для успешного уплотнения грунтов напряжения на поверхности не должны превосходить предела прочности. Чем выше напряжение на поверхности грунта, тем на бóльшую глубину происходит разрушение, а следовательно, и разрыхление грунта при его уплотнении. Укатка грунтов при превышении пределов прочности вообще невозможна вследствие сильного волнообразования перед катком. Исключением являются кулачковые катки, принцип работы которых состоит в некотором разрушении верхней части слоя; но и в этом случае превышение удельного давления над пределом прочности должно быть ограничено.

В таблице 32 приведены значения пределов прочности, полученные Н. Я. Хархута в результате лабораторных опытов, а также при испытаниях катков и трамбовок на уплотнении грунтов оптимальной влажности.

Таблица 32

Вид грунта	Предел прочности в кг/см²	
	при укатке	при трамбовании (диаметр штампа 70—100 см)
Малосвязные грунты (легкие и средние супеси)	5—7	6—8
Грунты средней связности (тяжелые супеси и легкие суглинки)	7—10	8—11
Грунты высокой степени связности (средние и тяжелые суглинки, в том числе пылеватые)	10—14	11—16
Весьма связные грунты	14—18	16—20

Однако напряжения грунта под рабочими органами не должны быть и слишком низкими, так как в этом случае снизятся как абсолютные значения плотностей грунтов, так и толщина прорабатываемого слоя. Опыты показывают, что лучший эффект уплотнения получается при напряжениях на поверхности, равных 80—90% предела прочности.

По мере роста скорости изменения напряженного состояния убывает величина полной деформации грунта и ее пластической части; понижение скорости напряженного состояния грунта при циклической нагрузке эквивалентно увеличению напряжения. Поэтому уже уплотненные при больших скоростях грунты вновь дадут осадку, если нагрузку того же напряжения приложить с меньшей скоростью. Отсюда следует, что во избежание осадок грунтов при работе их в сооружениях уплотнение следует вести при нагрузках, превышающих их рабочие значения. Однако влияние скорости на работу деформации вообще невелико.

При многократном приложении нагрузки пластическая деформация каждого нового цикла будет понижаться, но общая ее величина, т. е. накопленная пластическая деформация, будет возрастать. Интенсивность накопления пластической деформации зависит от рода грунта и его гранулометрического состава и может изменяться в 3—4 раза; от влажности грунта она может изменяться в 2 раза, от плотности грунта и его структуры — в $2—2^1/_2$ раза.

§ 4. ОПТИМАЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ

На эффект уплотнения огромное влияние оказывает влажность грунтов. В результате исследований ряда ученых (русские ученые А. Ф. Лебедев, Н. Н. Иванов, А. К. Бируля, Н. Я. Хархута, М. Я. Телегин, американский инженер Проктор и др.) найдено, что для каждого вида грунта существует такое значение влажности, когда при одинаковой затрате механической работы на уплотнение обеспечивается максимальная плотность. Такую влажность принято называть о п т и м а л ь н о й.

Рыхлый грунт, доставленный на уплотняемое земляное сооружение, характеризуется наличием трех фаз: твердых минеральных частиц, воды и воздуха. Процесс уплотнения протекает за счет вытеснения воздуха из пор и перехода грунта в состояние, близкое к двухфазному грунт—вода, т. е. к грунтовой массе. Сближение частиц и агрегатов при уплотнении происходит за счет вытеснения воздуха; однако и при максимальной плотности часть воздуха (3—5%) все же остается (защемленный воздух). Дальнейшее уплотнение может иметь место только за счет вытеснения воды, что связано, однако, с резким повышением затрачиваемой на уплотнение работы, а в случае уплотнения связных грунтов вообще невозможно.

На рисунке 198, *а* показана типичная кривая *АД* зависимости плотности насыпаемого грунта от влажности при затрате определенной работы на уплотнение. Вначале с увеличением влажности плотность растет (точка *В*), после чего увеличение влажности приводит к уменьшению плотности. Чтобы определить в любой точке кривой содержание воздуха, необходимо воспользоваться формулой:

$$\delta = \frac{\Delta}{\omega\Delta+1} - \frac{V\Delta}{\omega\Delta+1},$$

где δ — объемный вес скелета грунта;

Δ — удельный вес грунта;

V — объем газообразной фазы грунта;

ω — весовая влажность грунта.

Для рассматриваемого случая, при удельном весе грунта $\Delta = 2{,}66$ *г/см*^{3}, объемном весе скелета грунта $\delta = 1{,}9$ *г/см*^{3} и весовой влажности $\omega = 13\%$, для точки *А* содержание оставшегося в грунте воздуха будет 23%, в точке *В* — 4% и в точке *Г* — 1%, что подтверждает вышесказанное.

Низкая влажность уплотняемого грунта создает опасные условия при насыщении земляной плотины водой. Действительно, при уплотнении грунта в условиях точки A после создания напора на плотину в тело ее поступит до 23% воды, а при уплотнении в условиях точки B (оптимальная влажность)— не более 4%.

В целях устойчивости плотины после разгрузки ее водой она не должна впитывать в себя большое ее количество, так как в этом случае могут возникнуть деформации плотины и оползни. Поэтому грунт должен иметь минимальную пористость и такую влажность, при которой поры грунта заполнены водой. Эти условия осуществляются при оптимальной влажности грунта.

На рисунке 198, *б* представлена кривая консистенции, которая показывает, что с увеличением влажности сопротивление вдавливанию штампа в грунт уменьшается и при оптимальной плотности 1,9 *г/см*³ и оптимальной влажности 13% (рис. 198, *а*) составит всего 8 *кг/см*² (рис. 198, *б*) против 37 *кг/см*² при плотности 1,76 *г/см*³ и влажности 6,5%.

Отсюда можно было бы сделать вывод, что насыпь, в которой грунт уплотнен до состояния, характеризуемого точкой A кривой, при влажности 6,5%, будет более устойчивой. Такой вывод, однако, будет неправильным, так как насыпь, в которой грунт доведен до оптимальной плотности, при полном заполнении пор водой будет иметь незначительную влажность (15%) и сопротивление не менее 6,5 *кг/см*²; грунт же, имеющий первоначальную влажность 6,5% и плотность 1,76 *г/см*³, при насыщении его водой резко снижает сопротивление вдавливанию штампа. Будучи нагружен, он уплотнится до оптимальной плотности и даст большую осадку. Это показывает, что при уплотнении до оптимальной влажности не приходится опасаться значительной потери несущей способности под влиянием уплотнения.

Рис. 198. Зависимость между объемным весом скелета грунта и влажностью:
1—теоретическая, при отсутствии воздуха; *2*—практическая, при наличии защемленного воздуха (для суглинка).

Опыты А. Ф. Лебедева показывают, что при уплотнении сухих грунтов приходится затрачивать во много раз большее количество работы (в несколько десятков раз), чем при уплотнении грунтов, доведенных до состояния грунтовой массы. Это объясняется тем, что связный грунт поступает в насыпь в виде комков с микропорами, в которых размещается вода и воздух, между комками образуются более или менее крупные воздушные прослойки. В процессе укатки сначала происходит уничтожение макропор, а в дальнейшем, если это физически возможно, то и микропор. Чем суше грунт, тем больше прочность его комьев и больше работа, затрачиваемая на уплотнение. Вместе с тем, опыт показывает, что в начальной стадии уплотнения нужно затрачивать значительно меньшее количество работы, чем в конечной стадии.

Отсюда следует вывод о возможности в начальной стадии вести уплотнение более легкими уплотняющими машинами (предварительная прикатка), переходя в дальнейшем к более тяжелым. Как мы увидим далее, практика подтверждает возможность и рациональность такого уплотнения.

По наблюдениям А. Ф. Лебедева[1], «при уплотнении сухих и слабо увлажненных грунтов структурные отдельности не сливаются в однородную массу даже тогда, когда объемный вес достигает значительной величины.

Между комочками грунта на глаз видны значительные пустоты, а грунтовый блок, вынутый из формы, легко рассыпается. По мере увеличения влажности уплотняемого грунта комочки его сливаются все больше и больше, и когда грунт достигает, наконец, состояния грунтовой массы, он обращается в однородный блок, где нет никаких структурных элементов и вся масса которого связана более или менее сильным сцеплением в монолит».

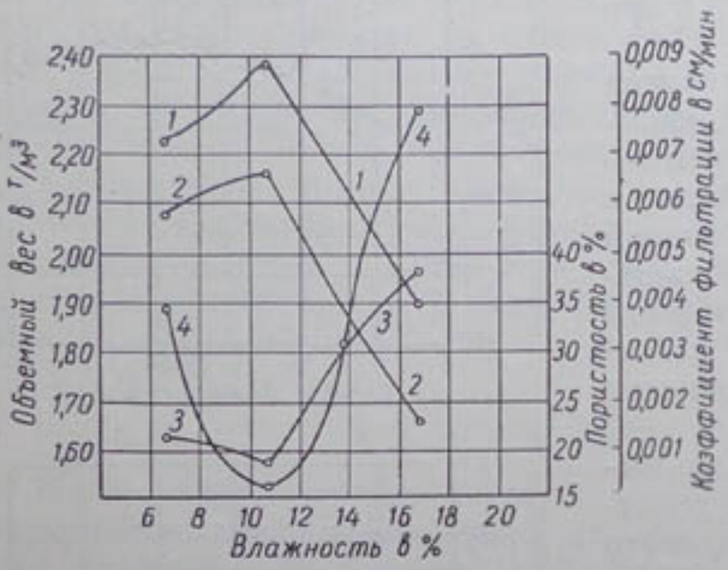


Рис. 199. Зависимость между влажностью грунта, его объемным весом, порозностью и коэффициентом фильтрации:

1—объемный вес влажного грунта (супесь); *2*—то же, сухого грунта; *3*—порозность; *4*—коэффициент фильтрации.

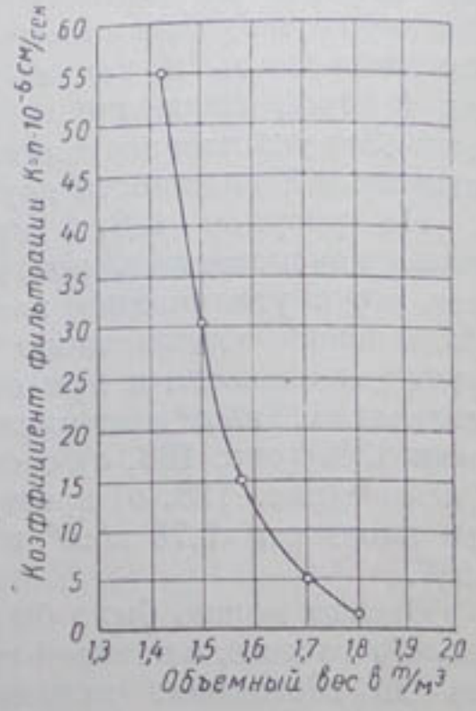


Рис. 200. Зависимость коэффициента фильтрации от степени уплотнения грунта.

Как видно из рисунка 199, полученного по опытам Б. Н. Ниязова, по мере приближения влажности грунта к оптимальному значению, коэффициент фильтрации быстро уменьшается и достигает своего минимума при $W = W_{опт}$ (W—влажность грунта). О значительном влиянии уплотнения на коэффициент фильтрации свидетельствует также опыт строительства канала имени Москвы над разнозернистыми песками (табл. 33).

Таблица 33

Процент уплотнения грунта	Объемный вес скелета в т/м³	Коэффициент фильтрации		Пористость в %	Коэффициент относительной плотности
		в см/сек	в %		
0	1,68	0,0094	100	36,6	0,63
4,7	1,75	0,0038	40	34,5	0,69
7,7	1,82	0,0024	25	32,4	0,79
11,9	1,89	0,0012	12	30,5	0,89
16,6	1,96	0,00046	5	29,4	0,94

Аналогичные результаты получены и для суглинистых грунтов. На рисунке 200 показана зависимость между коэффициентом фильтрации и объемным весом грунта для среднего суглинка по опытам САНИИРИ[2].

[1] А. Ф. Лебедев. Уплотнение грунтов при различной их влажности. Стройвоенмориздат, 1949.

[2] С. М. Кривовяз. Уплотнение грунта в целях борьбы с фильтрацией. «Гидротехника и мелиорация» № 3, 1953.

Изложенное показывает, что уплотнение грунтов при оптимальной влажности не только облегчает работу, но и значительно уменьшает коэффициент фильтрации и обеспечивает однородное бесструктурное сложение уплотненного грунта.

Как видно из рисунка 199, по мере удаления от оптимальной влажности все показатели уплотнения (объемный вес, порозность, коэффициент фильтрации) быстро ухудшаются; отсюда следует, что уплотнение грунтов эффективно лишь в узком диапазоне влажностей (порядка 1—2%).

Если грунт в карьере переувлажнен, то снижение его влажности может быть достигнуто устройством осушительных канав.

Пересушенные грунты необходимо искусственно увлажнять. Это может быть выполнено либо в карьере, что облегчает разработку грунта экскаваторами, либо на самой площадке. Увлажнение грунта в карьере может быть осуществлено заливкой его слоем воды в 20—40 *см*, производимой после снятия растительного слоя, на спланированную горизонтальную поверхность, огражденную небольшими валиками. Увлажнение грунта в карьере обеспечивает равномерную влажность, особенно в грунтах с вертикальной макропористостью (лессовидные грунты). Однако этот способ сравнительно сложен и связан с потерей времени. Увлажнение грунтов непосредственно на площадке проще и этот способ наиболее распространен. Для обеспечения равномерности увлажнения нужно обязательно применять разбрызгиватели к брандспойтам. Полезно перед увлажнением грунта перемешивать его боронами, а еще лучше культиваторами[1].

Рис. 201. Кривые зависимости объемного веса уплотняемого грунта от влажности и от величины уплотняющего усилия:

1, 2, 3—уплотнение грузом 9,5 *кг* при 50, 40 и 20 ударах; *4, 5* и *6*—уплотнение грузом 4,9 *кг* при 20, 10 и 5 ударах.

Дополнительное насыщение грунта оптимальной влажности водой при поднятии напора незначительно, что обеспечивает плотину после ее загрузки водой от деформации и оползней. Отсюда следует также, что старый критерий степени уплотнения по увеличению объемного веса уплотненного грунта в сравнении с объемным весом грунта в карьере является непоказательным, так как он не обеспечивает необходимых требований к уплотняемому грунту. Один и тот же процент дополнительного уплотнения может быть недостаточным для грунтов, имеющих в карьере рыхлую, неплотную структуру, а для грунтов плотных он может быть недостижимым.

Величина оптимальной влажности не является постоянной для данного грунта. Более мощными уплотняющими машинами, оказывающими большее давление на грунт, можно достичь, при прочих равных условиях, более интенсивного уплотнения, характеризующегося бóльшим объемным весом скелета и меньшей величиной оптимальной влажности (рис. 201).

На величину оптимальной влажности оказывает значительное влияние толщина уплотняемых слоев и число проходок катка или ударов трамбовок. Для данной уплотняющей машины с увеличением толщины слоев оптимальная влажность увеличивается, а объемный вес скелета уменьшается, и наоборот. Это объясняется тем, что с увеличением толщины уплотняемых слоев из грунта отжимается меньшее количество воды, а это имеет результатом увеличение оптимальной влажности. Что касается влияния числа проходок

---

[1] Б. И. Рутковский. Регулирование влажности уплотняемых грунтов. «Гидротехническое строительство» № 10, 1953.

катка (ударов трамбовки) на оптимальную влажность и объемный вес скелета, то оно объясняется тем, что для получения полного эффекта от данной уплотняющей машины необходимо затратить определенное количество работы на уплотнение. Дальнейшее увеличение числа проходок является лишней и малополезной работой, практически не дающей дополнительного уплотнения (рис. 202). Чтобы избежать затраты излишней работы на уплотнение, необходимо перед ее началом выполнить опытную укатку и построить график, подобный показанному на рисунке 202. При предварительной укатке определится число проходок катка (ударов трамбовки), необходимое для получения (при определенной толщине уплотняемого слоя) заданного лабораторией контрольного веса грунта, что позволит избежать излишних проходок катка.

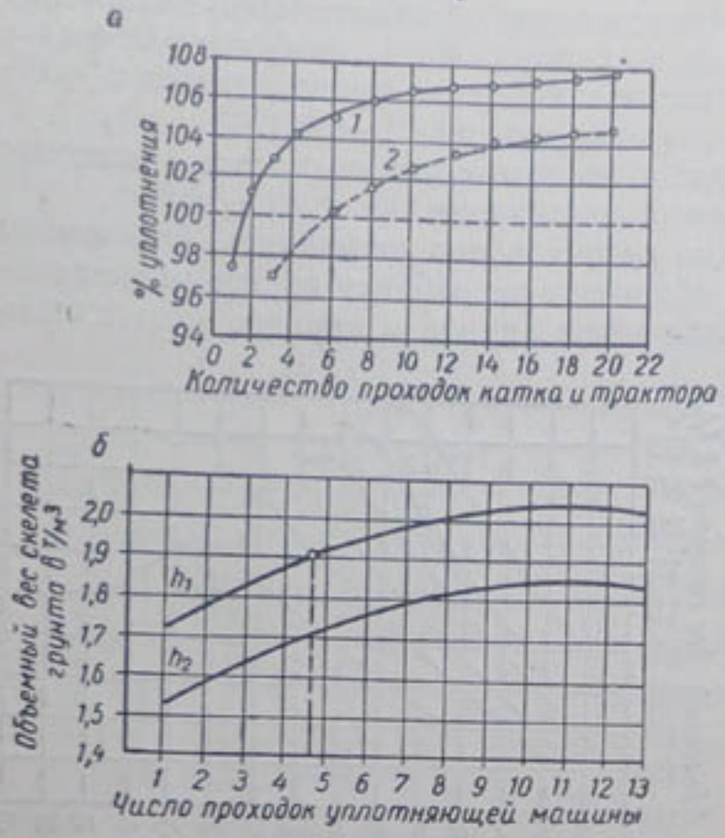


Рис. 202. Зависимость уплотнения грунта: *а*—от числа проходок катка или трактора; *б*—от толщины уплотняемого слоя. *1*—уплотнение катком 5—6 *т* с трактором; *2*—уплотнение трактором.

Изложенный метод предопределяет предварительное лабораторное изучение грунтов карьера и дальнейшую работу полевой лаборатории по контролю достигаемого уплотнения. На больших стройках необходимо организовать центральную и полевые лаборатории; на небольших стройках предварительное изучение грунтов карьера можно выполнять в ближайших лабораториях, а для контроля уплотнения следует организовать небольшие и простые по оборудованию полевые лаборатории.

§ 5. ВИДЫ УПЛОТНЯЮЩИХ МАШИН

Уплотняющие машины, по способу их воздействия на грунт, можно разделить на три группы.

1. Машины статического действия, производящие уплотнение обжатием частиц весом катка с перемещением частиц и некоторым заполнением пустот. К числу таких машин относятся гладкие катки прицепные (рис. 203, *а*) и моторные (рис. 203, *б*), а также кулачковые катки (рис. 203, *в*). Толщина слоев в рыхлом состоянии, уплотняемых гладкими катками, составляет 0,10—0,15 *м*, а кулачковыми (D=130) 0,25—0,35 *м*.

Новым типом уплотняющих машин статического действия являются катки на пневматических шинах (рис. 203, *г*). Эти катки уплотняют грунт на значительную глубину (толщина отсыпаемого слоя грунта в рыхлом состоянии изменяется для разных типов катков от 30 до 80 *см*) и могут применяться для укатки как несвязных, так и связных грунтов.

В Западной Германии фирма Веллер выпускает самоходные вибрационные катки, одновальцовые и двухвальцовые, а также прицепные. Вибрация (4500 колебаний в минуту) передается от эксцентрикового вала. Одновальцовые катки диаметром 0,57 *м*, весом 340 *кг*, шириной вальцов 0,57 *м* оказывают на грунт уплотняющее давление в 7500 *кг* и приводятся в движение двигателем мощностью 3 *л. с.*; они применяются на небольших объектах.

Двухвальцовый каток диаметром 0,57 *м*, весом 500 *кг*, шириной вальцов 0,71 *м* оказывает уплотняющее давление в 8500 *кг* и имеет двигатель мощностью

4 *л. с.* Эти катки применяются при больших объемах работ. Скорости самоходных катков 1,6 и 3,2 *км/час.*

Прицепные катки весом 1450 *кг*, диаметром 0,57 *м*, шириной 1,4 *м* оказывают давление в 10 000—20 000 *кг*; двигатель мощностью 8 *л. с.* Преимущества этих катков состоят в их высокой производительности и хорошей маневренности.

Изготовление виброкатков ДМ-85 и Д-317А освоено Рыбинским заводом дорожных машин. Виброкаток ДМ-85 самоходный, двухвальцовый, весом

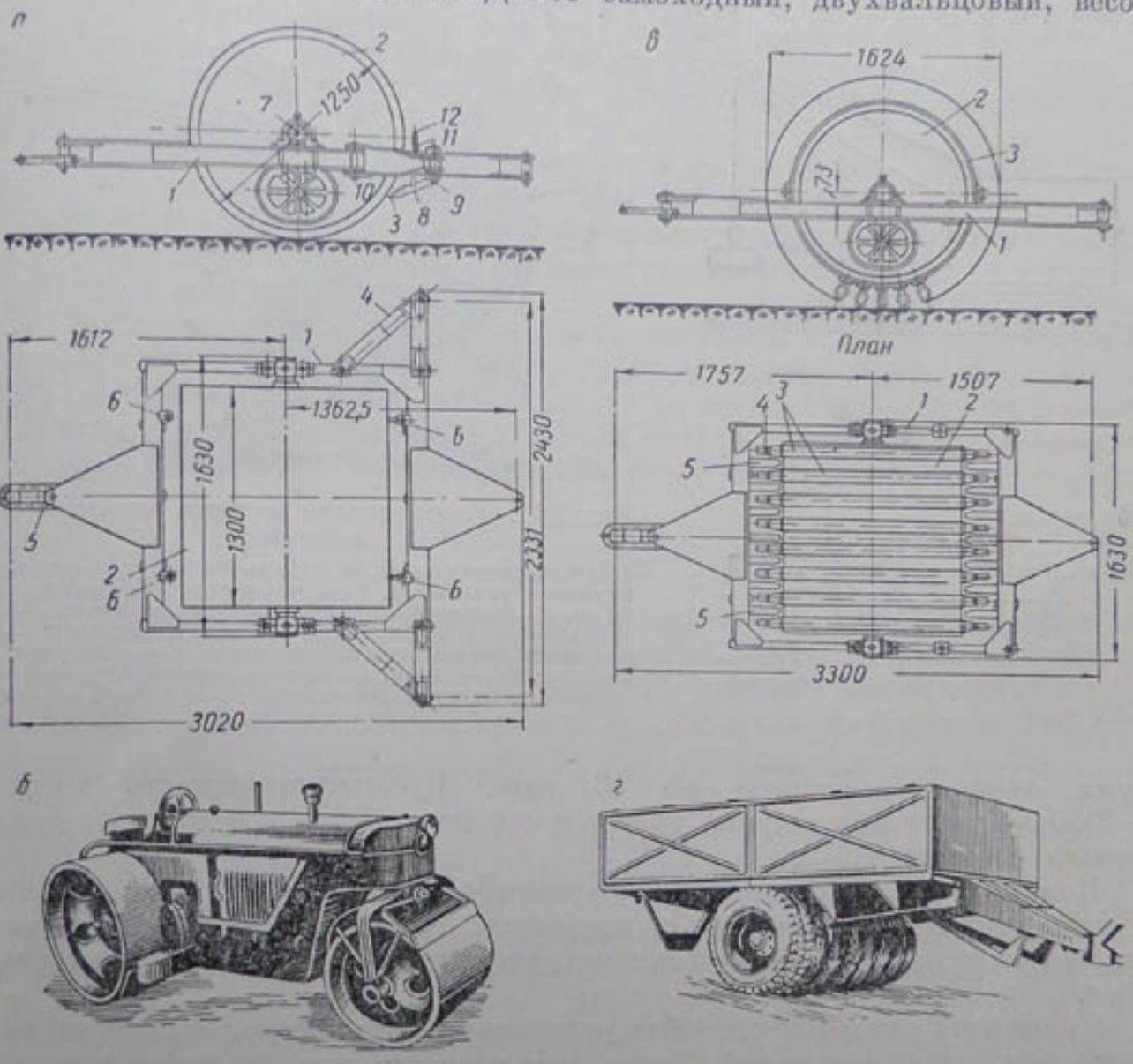


Рис. 203. Уплотняющие машины статического действия:
а—прицепной гладкий каток Д-126А: *1*—рама; *2*—барабан; *3*—скребок; *4*—сцепка для трех катков; *5*—прицепное устройство; *6*—планки для крепления скребков к раме; *7*—ось барабана; *8*—подвеска скребка; *9*—шарнир; *10*—стержни; *11*—пружины; *12*—гайки. *б*—моторный каток. *в*—прицепной кулачковый каток Д-130А: *1*—рама; *2*—барабан; *3*—кулачковые бандажи; *4*—кулачки; *5*—скребки. *г*—легкий каток Д-219 на пневматических шинах.

1200 *кг* с вибратором, встроенным в ведущий валец. По степени уплотняющего действия он подобен обычному моторному катку весом 6—10 *т*.

2. Машины динамического действия, уплотняющие грунт ударами падающего с некоторой высоты тяжелого груза. Динамическое воздействие на грунт облегчает преодоление сил трения при перемещении частиц в процессе уплотнения, вследствие чего при таком уплотнении нужны грузы меньшего веса, чем при уплотнении статическим воздействием.

К машинам этого рода относятся трамбующие плиты на базе экскаваторов (рис. 204, *а*), тяжелые (0,5÷1,0 *т*) взрывные трамбовки (рис. 204, *б*), многомолотковые трамбующие машины (рис. 204, *в*). Толщина слоев, уплотняемых тяжелыми ударными машинами, изменяется от 0,5 до 2 *м*.

3. Машины вибрационного действия производят уплотнение грунта путем высокочастотных колебаний (1000—7000 в минуту),

возникающих при быстром вращении неуравновешенных масс (дисбалансов). Высокочастотные колебания значительно уменьшают трение между частицами грунта, связь между частицами нарушается, грунт как бы течет, мелкие фракции грунта перемещаются и заполняют крупные поры, вследствие чего грунт уплотняется.

Вибрационная передвижная машина тяжелого типа С-315 передвигается трактором, а в транспортном положении машина перевозится автомобилем. Привод центробежных вибраторов направленного действия осуществляется

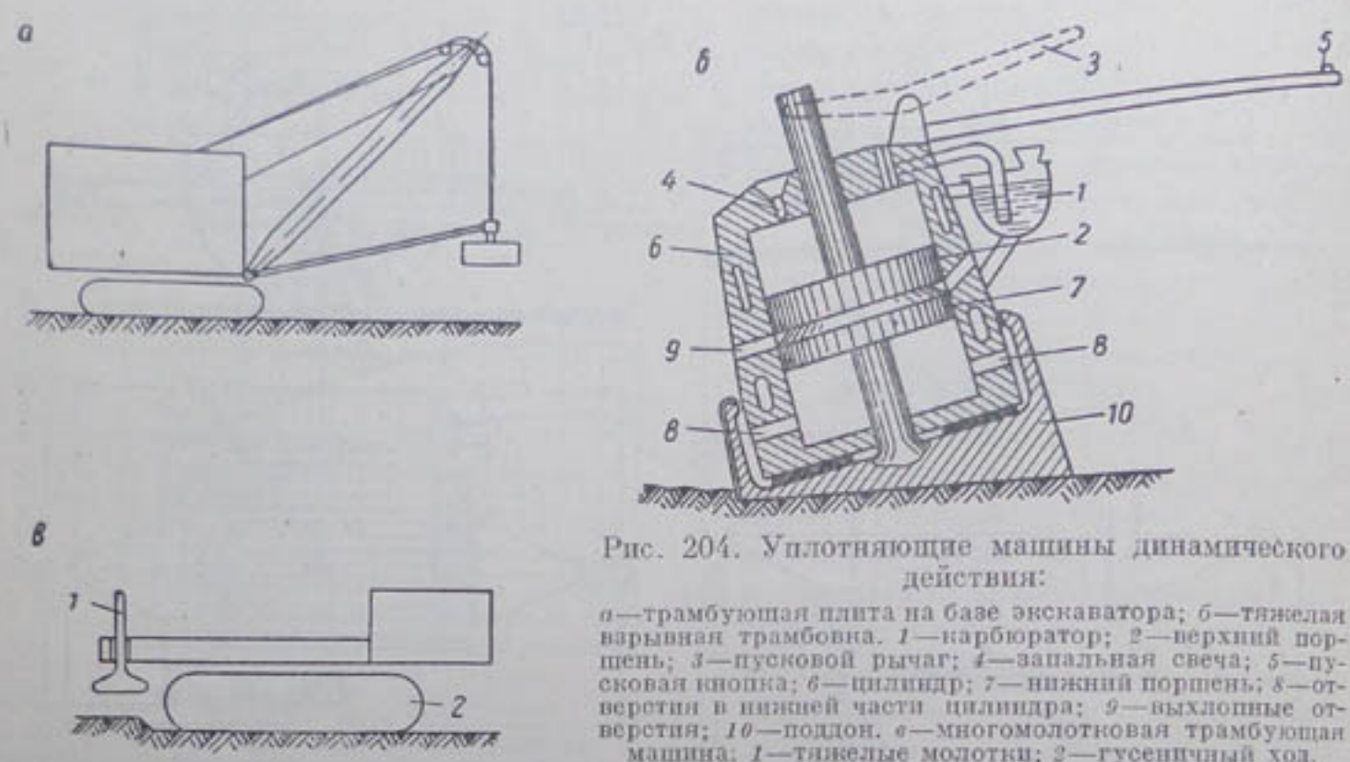


Рис. 204. Уплотняющие машины динамического действия:

а—трамбующая плита на базе экскаватора; *б*—тяжелая взрывная трамбовка. *1*—карбюратор; *2*—верхний поршень; *3*—пусковой рычаг; *4*—запальная свеча; *5*—пусковая кнопка; *6*—цилиндр; *7*—нижний поршень; *8*—отверстия в нижней части цилиндра; *9*—выхлопные отверстия; *10*—поддон. *в*—многомолотковая трамбующая машина: *1*—тяжелые молотки; *2*—гусеничный ход.

двумя электродвигателями по 40 *квт*. Производительность машины до 2000 $м^3$/*смену* при ширине уплотняемой полосы 1,4 *м* и толщине уплотняемого слоя до 1,5 *м*.

Наиболее распространено в настоящее время уплотнение катками; но вибрационное трамбование в несвязных грунтах обеспечивает лучшее качество уплотнения, бóльшую толщину уплотняемых слоев и экономичность работ.

Кроме этих основных способов уплотнения, при постройке дамб каналов применяют уплотнение водой. Грунт укладывается в дамбы без уплотнения, а затем выделенные временными перемычками участки каналов заполняют водой; под влиянием смачивания происходит уплотнение. Такое уплотнение нельзя считать доброкачественным.

При возведении дамб ограничиваются иногда уплотнением, получаемым от попутного проезда транспортных машин, что также нельзя считать достаточным.

§ 6. НОРМЫ УПЛОТНЕНИЯ НАСЫПЕЙ

Часто при определении норм уплотнения исходят из требования, чтобы объемный вес грунта после уплотнения был на определенный процент больше, чем в карьере. Такой подход нельзя считать правильным, поскольку при этом не учитывается влажность грунта, существенно влияющая на его свойства; остается также неизвестным, будут ли удовлетворены требования проекта в отношении коэффициента фильтрации.

Более совершенный способ определения уплотнения, применяющийся на крупных стройках в СССР, заключается в следующем. Проводят исследование фильтрационных свойств и определяют объемный вес нескольких образцов грунта, взятых из карьера и доведенных до разных степеней уплотнения. По этим данным строят кривую зависимости между коэффициентом

фильтрации и объемным весом грунта. Имея заданный в проекте коэффициент фильтрации грунта в насыпи, определяют по кривой контрольный объемный вес уплотненного грунта. Эта работа выполняется в лаборатории перед началом возведения насыпи.

Контроль на месте работ ведут по контрольному объемному весу, который должен иметь уплотненный грунт. В процессе возведения насыпи систематически берут образцы грунта из уложенных и уплотненных слоев, определяют их объемный вес и сравнивают с контрольным. Если объемный вес уложенного грунта оказывается меньше контрольного, производят дополнительное уплотнение; нормы влажности уплотняемого грунта при этом способе не устанавливаются и необходимость увлажнения грунта определяется визуально.

При изложенном способе обеспечивается проектный коэффициент фильтрации; контроль при производстве работ весьма прост.

Практика показывает, что при определении норм уплотнения указанным способом, при тщательном производстве работ и надлежащем контроле за качеством выполнения земляные плотины получаются почти безусадочными; например, Истринская плотина из песчаных грунтов высотой 25 *м* дала через три года после окончания работ осадку на 10 *см*, или 0,4% от высоты. Такие же ничтожно малые осадки были и на ряде других плотин.

Контрольный объемный вес несвязных грунтов можно определять также по коэффициенту относительной плотности D по формуле:

$$D = \frac{\varepsilon_{рых} - \varepsilon_{кон}}{\varepsilon_{рых} - \varepsilon_{пл}}, \qquad (113)$$

где $\varepsilon_{рых}$, $\varepsilon_{пл}$ — коэффициенты порозности в рыхлом и плотном состояниях;
$\varepsilon_{кон}$ — контрольный коэффициент порозности грунта, который должен быть достигнут в уплотняемой насыпи.

Контрольный объемный вес скелета $\gamma_{кон}$ получим из формулы (113) подстановкой вместо ε величины $\varepsilon = \frac{\Delta - \gamma}{\gamma}$, где Δ — удельный вес грунта:

$$\gamma_{кон} = \frac{\gamma_{пл}\gamma_{рых}}{\gamma_{пл}(1-D) + D\gamma_{рых}}. \qquad (114)$$

Для определения $\gamma_{кон}$ по уравнению (114) необходимо знать величину коэффициента D; приведем его значения, например, по данным строительства канала имени Москвы (табл. 34).

Таблица 34

Высота песчаной насыпи над контрольным слоем в *м*	Коэффициент D	Высота песчаной насыпи над контрольным слоем в *м*	Коэффициент D
2— 4	0,62—0,68	15—17	0,77—0,83
6— 8	0,67—0,73	20—25	0,82—0,88
10—12	0,72—0,78		

Для связных грунтов контрольный вес можно определить также по формуле:

$$\gamma_{кон} = \frac{\Delta}{1 + A\Delta}, \qquad (115)$$

где A — влажность при нижнем пределе пластичности.

Следовательно, формула (115) дана в предположении, что при уплотнении грунт должен доводиться до влажности, соответствующей нижнему пределу пластичности.

Наиболее совершенное уплотнение, обеспечивающее не только водонепроницаемость плотины, но и ее устойчивость после загрузки водой, достигается при оптимальной влажности грунтов. При этом затрачивается также минимум работы на уплотнение.

§ 7. УПЛОТНЕНИЕ ГРУНТОВ УКАТКОЙ

Общие указания. Грунты обычно уплотняют прицепными катками, так как они обеспечивают бóльшую производительность и экономичность работы, чем моторные; по сравнению с другими уплотняющими машинами катки более просты по конструкции. Недостатки их состоят в небольшой толщине уплотняемых слоев (кроме катков на пневматике) и необходимости длинного фронта работ (не менее 100 *м*), а также в том, что ширина уплотняемого сооружения должна быть достаточной для поворота катков вместе с тягачом или для прицепки последнего.

Катки с гладкими жесткими барабанами и на пневматике пригодны для уплотнения как несвязных, так и связных грунтов; кулачковые катки применяются только для уплотнения связных грунтов.

Эффект уплотнения зависит от правильного выбора параметров катков и режима укатки.

Гладкие катки с жестким барабаном. При укатке грунтов с гладкими катками напряженное состояние начинается в точке B касания катка с грунтом (рис. 205); затем оно возрастает и достигает максимума в точке A вследствие наличия тягового усилия. После точки, расположенной под центром барабана, напряжение постепенно падает до нуля в точке $Д$. Таким образом, давление от гладкого катка на грунт передается в основном только через поверхность, соответствующую первой половине (по направлению движения) погруженной в грунт части окружности барабана. В связи с таким распределением давления катка на грунт и наличием тягового усилия, перед барабаном перемещается волна грунта и имеют место трещины, перпендикулярные направлению движения катка.

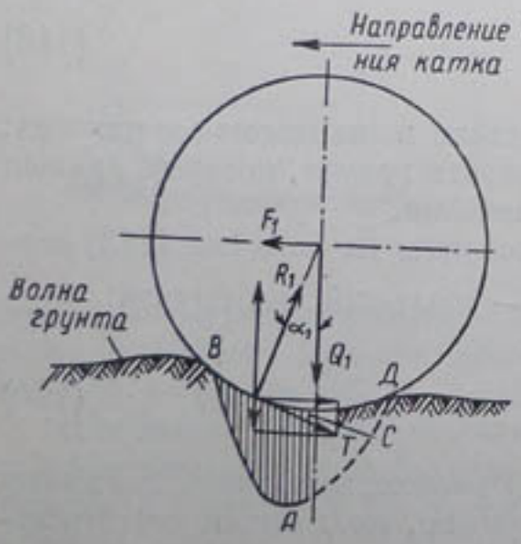


Рис. 205. Схема распределения напряжений в грунте под барабаном катка.

Эти факторы, а также незначительная толщина уплотняемого слоя (примерно 0,15 *м*) и быстрое падение объемного веса по его толщине объясняют причины, по которым уплотнение гладкими катками не может считаться прогрессивным методом.

Как было уже указано, напряжение на укатываемой поверхности не должно превосходить предел прочности грунта $\sigma_р$. Для определения $\sigma_р$ Н. Я. Хархута предложил формулу:

$$\sigma_р > \sqrt{\frac{q\varepsilon}{R}}, \qquad (116)$$

где R — радиус катка в *см*;

ε — модуль деформации; для связных грунтов $\varepsilon = 200$ *кг/см²*, для несвязных $\varepsilon = 150 \div 200$ *кг/см²*;

q — удельное линейное давление в *кг/см*.

Так как предел прочности (табл. 32) меняется в значительных пределах, то рекомендуется производить подкатку, т. е. предварительное уплотнение более легкими катками. Опыты показали, что при подкатке не только не требуется дополнительной работы, но в некоторых случаях число необходи-

мых проходок даже сокращается. Экономия при уплотнении достигается в результате сокращения общего числа проходок на 20—25% и выполнения части проходок более легкими катками. При укатке рыхлых грунтов легкими катками верхняя часть прорабатываемого слоя доводится до высокой плотности, благодаря чему погружение барабана при дальнейшем проходе более тяжелого катка уменьшается, а напряжение на поверхности увеличивается.

Отметим, что уплотнение рыхлых грунтов тяжелыми катками становится неэффективным, а иногда и невозможным вследствие сильного волнообразования. Учитывая возможность загрузки катков балластом, следует производить укатку катками двух типов.

На результат укатки оказывает влияние скоростной режим катков. Опыты показали рациональность первой и двух последних проходок на низких скоростях (2—2,5 *км/час*), а промежуточных проходок — на высоких скоростях (до 8—10 *км/час*). Скоростной режим обеспечивает ту же плотность, что и при уплотнении на низких скоростях, более ровную поверхность грунта, значительно повышает производительность катков при уплотнении связных грунтов и снижает стоимость уплотнения.

На основании теоретических и экспериментальных исследований Н. И. Наумец[1] рекомендует рациональную скорость v промежуточных проходок рассчитывать в зависимости от параметров катка и параметров уплотняемого грунта по формуле:

$$v_{\text{п}} = \frac{b}{\pi}\sqrt{\frac{P_0 b l g}{Q}}, \tag{117}$$

где Q — вес катка в *кг*;

l — ширина катка в *см*;

b — длина хорды соприкосновения катка с грунтом в *см*, определяемая по формуле:

$$b = \sqrt{\frac{2{,}32QD}{\varepsilon l}}, \tag{118}$$

D — диаметр катка в *см*;

P_0 — сопротивление укатываемого грунта смятию в *кг/см*^{3}; оно представляет собою силу в *кг*, необходимую для вмятия площадки грунта в 1 *см*^{2} на глубину 1 *см*. Численное значение его в зависимости от степени рыхлости грунта принимается $P_0 = 0{,}3 \div 0{,}9$ *кг/см*^{3};

ε — модуль упругости грунта $20 \div 30$ *кг/см*^{2}.

Пример. Параметры катка: $Q = 10\,000$ *кг*, $l = 200$ *см*, $D = 150$ *см*. Параметры грунта: $P_0 = 0{,}7$ *кг/см*^{3}, $\varepsilon = 25$ *кг/см*^{2}; тогда:

$$b = \sqrt{\frac{2{,}32 \cdot 10\,000 \cdot 150}{25 \cdot 200}} \simeq 27 \text{ см};$$

$$v_{\text{п}} = \frac{27}{3{,}14}\sqrt{\frac{0{,}7 \cdot 27 \cdot 200 \cdot 981}{10\,000}} \simeq 180 \text{ см/сек} = 6{,}5 \text{ км/час}.$$

а) для связных грунтов:

$$H_0 \simeq 0{,}28\,\frac{W}{W_0}\sqrt{qR}; \tag{119}$$

б) для несвязных грунтов:

$$H_0 \simeq 0{,}35\,\frac{W}{W_0}\sqrt{qR}, \tag{119а}$$

где W_0 — оптимальная влажность грунта;

W — фактическая влажность грунта при укатке.

Эту формулу можно применять лишь при $W < W_0$, так как укатка грунтов, особенно связных, при $W > W_0$ вообще нецелесообразна.

---

[1] Н. И. Наумец. Определение рациональных скоростей перемещения грунтоуплотняющих прицепных катков. «Строительное и дорожное машиностроение» № 11, 1957.

По данным САНИИРИ (С. М. Кривовяз) при уплотнении катками свеже-отсыпанных горизонтальных слоев грунта зона распространения деформации не превышает двойной величины погружения катка в грунт; для гладких катков она не более 10—15 *см*, для кулачковых катков Д-130А с кулачками высотой 17,5 *см* она не больше 35 *см*, а для катков Д-220 с кулачками высотой 40 *см* она не более 80 *см*.

Кулачковые катки. При укатке грунта кулачковыми катками удельные давления на грунт значительно выше предельной прочности грунтов. Поэтому кулачковые катки применяются лишь при уплотнении связных грунтов, особенно комковатых; они малоэффективны при уплотнении грунтов несвязных, так как в этом случае частицы перемещаются в стороны и вверх, а это имеет следствием разрушение их структуры. При движении кулачковых катков эффективно уплотняются лишь слои грунта, расположенные ниже горизонта погружения кулачков, а верхняя часть грунта уплотняется только после отсыпки нового слоя. Наиболее эффективное уплотнение находится в пределах полуторной высоты кулачков. Заглубление кулачков в связи с интенсивным уплотнением нижних частей слоя постепенно уменьшается при последующих проходках; при легких и средних катках неуплотненная верхняя часть слоя невелика (4—6 *см*).

При малых удельных давлениях вследствие небольшой глубины проникания кулачков толщина уплотняемого слоя снижается, а при слишком больших давлениях эффективность катка падает вследствие значительного разрыхления верхней части уплотняемого слоя и увеличения сопротивлений перекатыванию катка. При повышении давления увеличивается и налипание грунта на кулачки, что затрудняет укатку.

Н. Я. Хархута на основании испытаний и практики эксплуатации кулачковых катков предлагает как оптимальные следующие давления на опорной поверхности кулачков (табл. 35).

Таблица 35

Характер уплотняемого грунта	Оптимальные давления на поверхности кулачка в *кг/см*²
Легкие и частично средние суглинки, в том числе и пылеватые	7—15
Средние, частично тяжелые и тяжелые пылеватые суглинки	15—40
Тяжелые суглинки, тяжелые пылеватые суглинки, глины	30—60

Эти данные относятся к грунтам, влажность которых близка к оптимальной.

Основным условием успешного использования кулачковых катков является их работа только на горизонтальной поверхности. Грунт между кулачками выжимается вбок, и этот процесс зависит от влажности грунта и удельного давления на уплотняющей поверхности кулачка. По результатам опытов Б. И. Рутковского[1] в среднем (для влажностей от 8 до 16%) в стороны от кулачков отжимается около 30% грунта, в результате чего кулачками уплотняется не только грунт, на который они оказывают непосредственное давление, но и грунт между кулачками.

Потребное тяговое усилие T в килограммах для перемещения кулачкового катка (без учета трения в подшипниках и подъема пути) при условии, что вес катка обеспечивает погружение кулачков в грунты на полную их

---

[1] Б. И. Рутковский. Уплотнение грунтов при строительстве плотин и дамб. «Гидротехника и мелиорация» № 6, 1952.

глубину, может быть подсчитан по формуле Н. И. Наумец[1]:

$$T = \frac{nh^2bP_0}{\pi D}\left(\frac{h}{6} + \frac{a}{3}\right),$$

где n — число кулачков на барабане катка;
D — диаметр барабана катка в *см*;
h — высота кулачка в *см*;
b — ширина головки кулачка в *см*;
a — длина головки кулачка в *см*;
P_0 — сопротивление грунта смятию в *кг/см*^{3}.

Пример. Дано $n = 180$, $D = 200$ *см*, $h = 34$ *см*, $b = 6$ *см*, $a = 8$ *см*, $P_0 = 0{,}5$ *кг/см*^{3}.

$$T = \frac{180 \cdot 34^2 \cdot 6 \cdot 0{,}5}{3{,}14 \cdot 200}\left(\frac{34}{6} + \frac{8}{3}\right) \simeq 8300 \text{ кг}.$$

Катки на пневматических шинах. Хотя эти катки внедрены сравнительно недавно, они уже зарекомендовали себя как высокоэффективное оборудование для уплотнения как связных, так и несвязных грунтов.

Пневматические катки не только сами деформируют грунт; деформируются также их шины. При первых проходках, когда грунт находится

Рис. 206. Деформация грунта и шины в зависимости от числа проходок:
1 — деформация грунта; *2* — деформация шины.

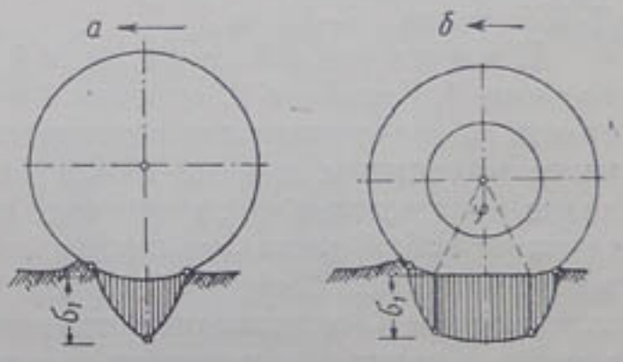


Рис. 207. Схема распределения вертикальных напряжений в грунте:
а — под жестким вальцом катка; *б* — под пневматическим колесом; σ_1 — вертикальные напряжения; φ — угол контакта.

еще в рыхлом состоянии, деформация шины незначительна по сравнению с деформацией грунта; при последующих проходках, когда грунт приобретает уже достаточную плотность, происходит обратное явление. Схема взаимодействия пневматического колеса с грунтом в разные периоды укатки показана на рисунке 206. Площадь контакта между пневматическим колесом и грунтом может рассматриваться как эллипс (рис. 207, *б*). Напряжение на поверхности грунта быстро возрастает до максимума и поддерживается на этом уровне вследствие сжатия шины в рабочем секторе. Продолжительность действия пневматического колеса на грунт значительно больше, чем жесткого (рис. 207, *а*) и эта особенность оказывает положительное влияние на эффективность уплотнения грунта.

Оптимальная толщина слоя уплотняемого связного грунта H_0 (в *см*) при давлении сжатого воздуха в шине, равном 5—6 *кг/см*^{2}, может быть подсчитана по формуле:

$$H_0 = 0{,}53\,\frac{W}{W_0}\sqrt{Q}, \qquad (120)$$

где Q — давление на колесо в *кг*;
W_0 — оптимальная влажность в %;
W — влажность уплотняемого грунта в %.

[1] И. И. Наумец. Определение тягового усилия для передвижения кулачкового катка. «Строительное и дорожное машиностроение» № 7, 1957.

На величину уплотняемого слоя больше влияет нагрузка на каток, чем давление в шинах. При увеличении скорости движения катка уменьшается время действия пневматических колес на грунт, в связи с чем уменьшается и глубина уплотнения.

Пневматические колеса монтируются с некоторыми зазорами, что необходимо как для установки промежуточных опор, так и для устранения возможности соприкосновения шин при их деформации под нагрузкой. Грунт, находящийся под колесами, стремясь выдавиться из-под колеса, оказывает давление на грунт в междуколесном пространстве и уплотняет его. Такое действие имеет силу при расстоянии между шинами, равном $(0{,}4—0{,}5)b$, где b—ширина шины.

При пневматических катках, как и при гладких, положительное влияние имеет подкатка и рациональный скоростной режим.

§ 8. КОНСТРУКЦИИ КАТКОВ

Нашей промышленностью выпускаются прицепные гладкие катки Д-126А весом с балластом 4,4 *т*, кулачковые Д-130А весом 5*т*, Д-130Б весом 5,5 *т* и Д-220 весом 31,8 *т*, одноосные катки на пневматических колесах Д-219 весом 10 *т*, Д-263 весом 25 *т*, а также каток Д-326 весом 50 *т*. Промышленностью осваивается также самоходный каток на пневмошинах Д-365 весом 9—18 *т*.

Прицепной гладкий каток Д-126А (рис. 203, *а*) состоит из рамы *1*, барабана *2*, скребка *3* и сцепки *4* для трех катков; к раме с двух сторон приварены дышла с прицепным устройством *5*. К поперечным балкам рамы приварены планки *6* для крепления скребков. Чугунный барабан *2* катка вращается в подшипниках, прикрепленных болтами к раме; он представляет собой деталь из двух половин, соединенных шпильками, залитыми в теле барабана. Скребки *3* из полосового железа толщиной 8 *мм* приварены к подвескам *8*, а последние прикреплены к раме на шарнирах *9*; подтяжка скребка к катку производится стержнями *10* с пружинами *11*, регулируемыми гайками *12*. По концам рамы монтируются сцепки *4*, прикрепляемые к двум задним концам рамы. Каждая боковая сторона барабана имеет люк для загрузки балластом.

Диаметр барабана 1,25 *м*, ширина катка 1,3 *м*, ширина полосы, укатываемой сцепом из трех катков, 3,63 *м*, наибольшая толщина уплотняемого слоя 0,15 *м*, давление катка на грунт без догрузки 20 *кг/пог. см* и с догрузкой 34 *кг/пог. см*, вес катка без догрузки 2,6 *т* и с догрузкой 4,4 *т*.

Прицепной кулачковый каток Д-130А (рис. 203, *в*) весом 3,2—5 *т* состоит из рамы *1*, барабана *2*, кулачковых бандажей *3* и сцепки для трех катков. Каток Д-130А изготовляется на базе гладкого катка Д-126А. Кулачки монтируются на гладкий барабан при помощи восьми бандажей *3*, к каждому из которых прикреплено по шестнадцати кулачков. Бандажи размещаются так, чтобы кулачки располагались в шахматном порядке, для чего один бандаж смещается относительно другого на $^1/_2$ шага кулачка. Барабан катка с осью и подшипниками, а также сцепки используются от гладкого катка; наибольшая толщина уплотняемого слоя 0,25 *м*, высота кулачков 0,175 *м*, число кулачков 128, давление на грунт без догрузки 40 *кг/см*^{2} и с догрузкой 60 *кг/см*^{2}. На рисунке 203, *в* показаны кулачки ранее применявшейся формы.

Опытами К. А. Ланина установлена наиболее рациональная форма кулачков (рис. 208), при которой уменьшается взрыхление уплотняемого слоя при выходе кулачков из грунта и понижается коэффициент сопротивления движению катков.

Сцеп трех кулачковых катков показан на рисунке 209. Инж. М. Д. Гилула[1] на основании опыта работ по возведению одной из защитных дамб

[1] М. Д. Гилула. Уплотнение грунта при возведении дамбы. «Гидротехническое строительство» № 11, 1956.

Каховской гидростанции и специального изучения влияния формы кулачков на объемный вес уплотняемого грунта указывает, что наилучшие результаты уплотнения получались при кулачках, имеющих форму усеченного конуса. При таких кулачках обеспечиваются большие объемные веса уплотняемых грунтов, меньшее количество грунта выбрасывается на уплотняемую поверхность и грунт на кулачки не налипает. По сообщению М. Д. Гилула, кулачки такой формы широко применяются и в зарубежной практике.

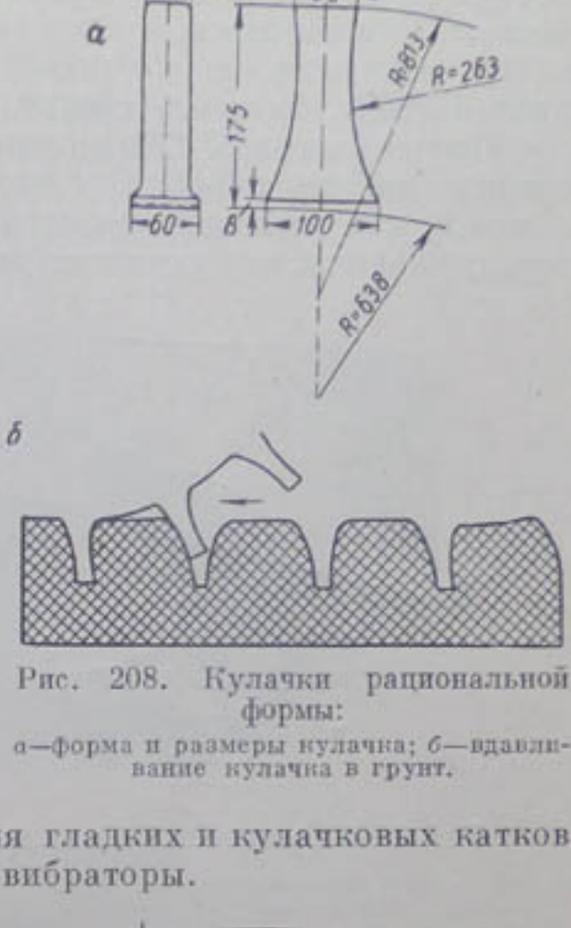


Рис. 208. Кулачки рациональной формы:
а—форма и размеры кулачка; *б*—вдавливание кулачка в грунт.

В таблице 36, составленной на основе испытаний катков в производственных условиях, приведены данные о средне тяговых усилиях, необходимых для передвижения катков.

Из таблицы 36 видно, что тяговые усилия значительно уменьшаются по мере уплотнения грунта.

Для повышения уплотняющего действия гладких и кулачковых катков целесообразно устанавливать на их раме вибраторы.

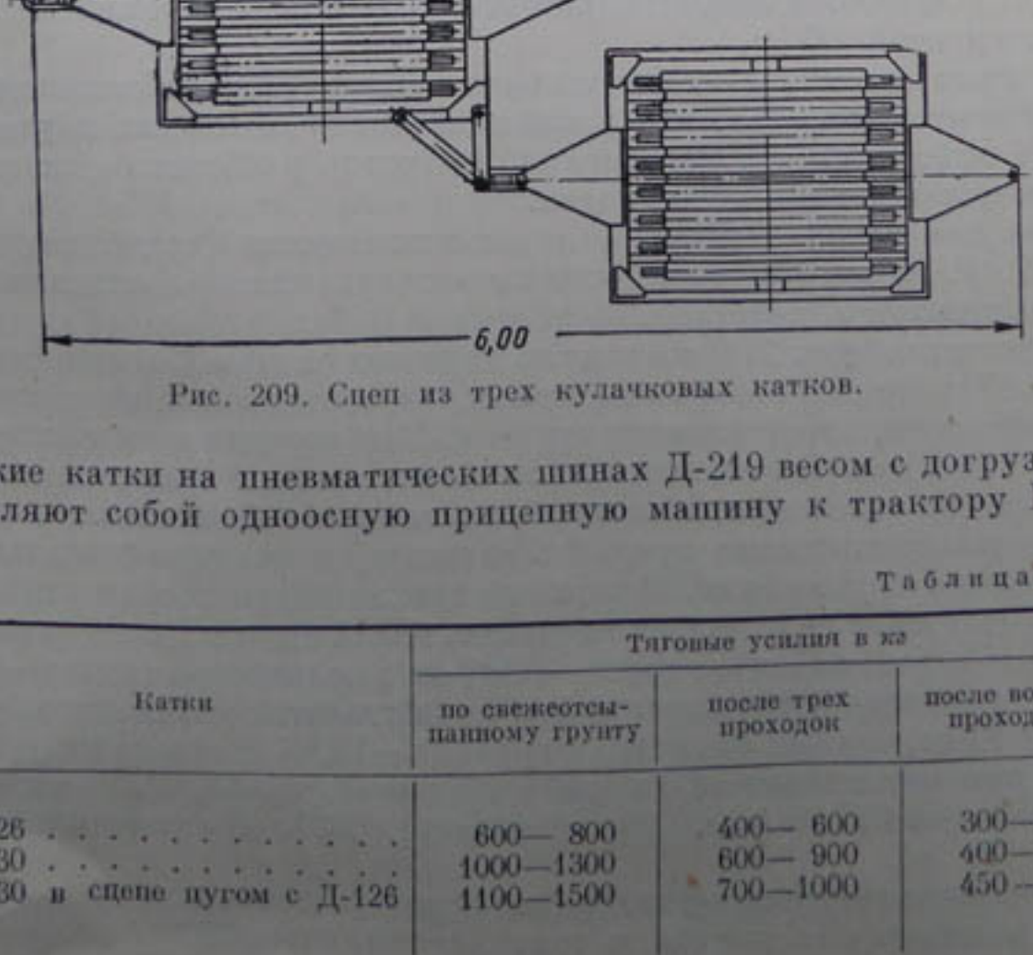


Рис. 209. Сцеп из трех кулачковых катков.

Легкие катки на пневматических шинах Д-219 весом с догрузкой 10 *т* представляют собой одноосную прицепную машину к трактору КД-35 на

Таблица 36

Катки	Тяговые усилия в *кг*		
	по свежеотсыпанному грунту	после трех проходок	после восьми проходок
Д-126	600— 800	400— 600	300—600
Д-130	1000—1300	600— 900	400—700
Д-130 в сцепе пугом с Д-126	1100—1500	700—1000	450—800

восьми колесах с шинами 7×20 дюймов. Они обладают большой маневренностью. Основную часть их веса (около 80%) составляет балласт; поэтому такие катки могут перевозиться с объекта на объект грузовыми автомобилями ГАЗ-51. Боковые стенки кузова откидные.

Средние катки Д-263 весом с нагрузкой 25 *т*, одноосные, работают на прицепе трактора С-80. Оси колес катков Д-219 и Д-263 жестко связаны с рамой; при движении по неровной поверхности насыпи отдельные шины перегружаются, что ухудшает равномерность уплотнения. Поэтому тяжелые

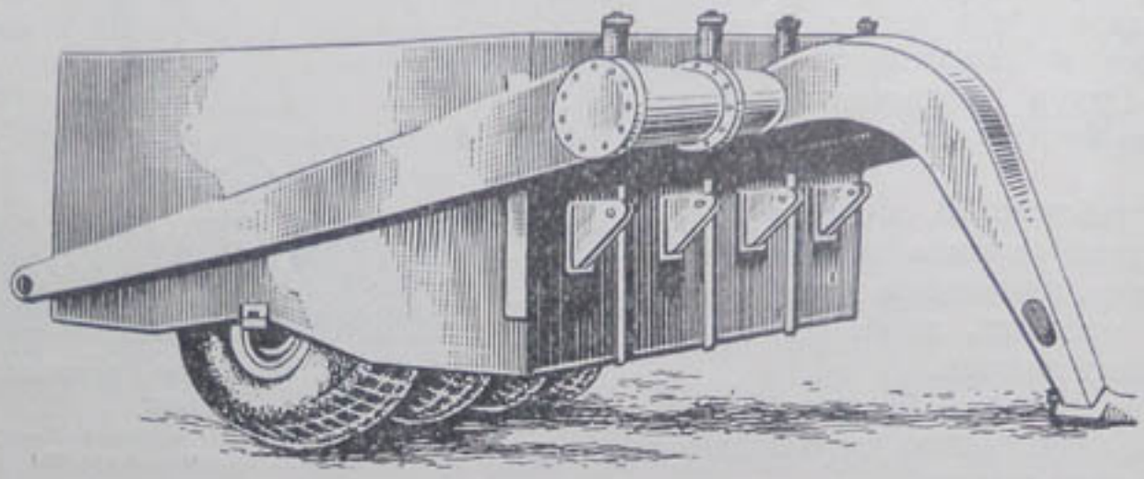


Рис. 210. Секционный каток на пневматических шинах (США) весом 45 *т*, а с догрузкой 90 *т*.

катки Д-326 весом до 50 *т*, работающие на прицепе трактора С-140, делаются из пяти или трех отдельных секций, которые могут перемещаться в вертикальном направлении. Производительность за смену катка Д-219—6000 *м*³, а катка Д-263—9000 *м*³. Толщина слоев, уплотняемых катком Д-219, составляет 20—30 *см*, а катком Д-263—35—45 *см*.

За рубежом катки на пневматических шинах получили широкое применение, особенно одноосные катки, вследствие их лучшей маневренности. Вес катков достигает 100 и даже 200 *т*. Тяжелые и сверхтяжелые катки выпускаются секционными. На рисунке 210 показан секционный каток весом с догрузкой 90 *т*.

Некоторые американские фирмы начали применять вибрационные катки на пневматических шинах, что уменьшает число проходок и увеличивает на 3—10% эффективность уплотнения. Вибратор работает от специального двигателя, установленного на катке.

Прицепные катки Д-302А с падающим грузом (трамбующие катки) системы Е. Г. Стригина принципиально отличаются от описанных выше машин статического действия.

Корпус катка (рис. 211) состоит из двух литых щек *1*, соединенных траверсами *2*. С внутренней стороны в щеках устроены пазы *3*, по которым, как по направляющим, перемещаются грузы *4*. При передвижении катка грузы, лежащие внизу, начинают подниматься вверх; упоры *8* предохраняют грузы от выпадения из пазов щек. Копиры *5*, по которым обкатываются ролики *9* грузов, жестко соединенные с рамой *6* катка, препятствуют соскальзыванию поднимающихся грузов вниз. В верхней точке копира несущая его поверхность прерывается и груз падает на уплотняемый грунт. Диаметр катка 2 *м*, трамбующая площадь одного груза—6000 *см*², количество грузов—три, высота падения грузов—1,60 *м*, вес грузов, в зависимости от характера работ,—1200 или 1800 *кг*, полный вес катка с грузами—12,65 *т*, число ударов грузов в минуту при передвижении на рабочей скорости—24. Рабочая скорость передвижения—2,25 *км/час*. Трактор-тягач С-80. Производительность в смену—10 000 *м*².

Каток предназначен для уплотнения дна оросительных каналов, прудов, водоемов, а также для укатки и трамбования насыпей.

Уплотнение грунта катком происходит непрерывно по всей длине уплотняемой полосы, хотя после прохода катка и остаются полосы по 30 *см*, воспринимающие удара[1].

Наблюдения за работой катка подтверждают большую эффективность совмещения действия ударной и статической нагрузки при уплотнении грунтов. Удельное давление доходит до 170 *кг/см*, уплотнение от ударов катка распространяется по глубине за пределы площади трамбовок.

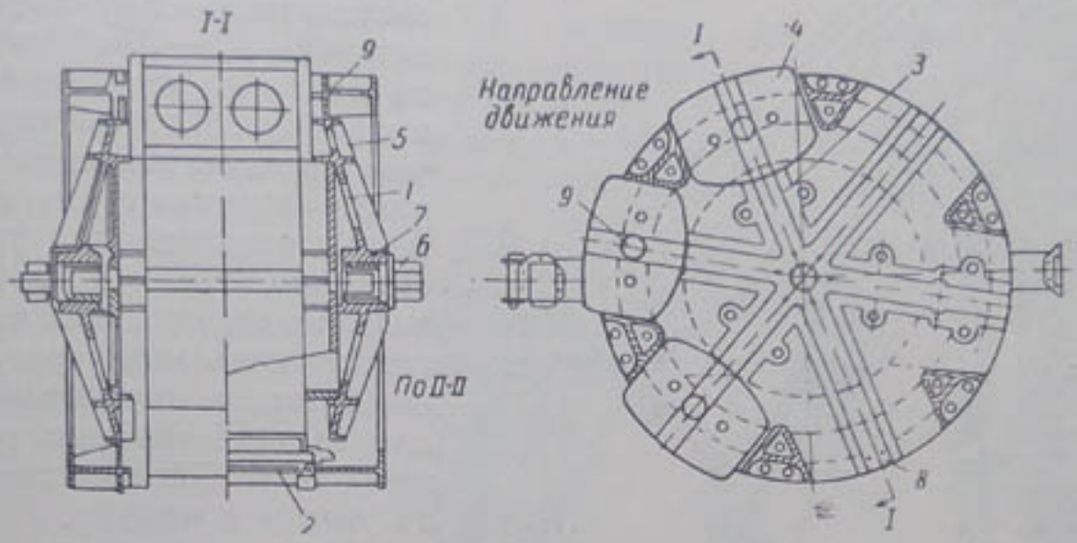


Рис. 211. Конструкция катка с падающими грузами:
1—щека катка; *2*—соединительная траверса; *3*—паз для перемещения груза; *4*—груз; *5*—копир; *6*—рама катка; *7*—цапфа; *8*—упор; *9*—ролик груза.

При влажности 20—27% достигается оптимальное уплотнение грунтов с ненарушенной структурой на глубине 0,8—1 *м* за десять проходок катка с трамбовками по 1800 *кг*.

При грунтах с нарушенной структурой оптимальное уплотнение на глубине 1 *м* получается после шести проходок катка с трамбовками по 1200 *кг*.

§ 9. УПЛОТНЕНИЕ ГРУНТОВ ТРАМБОВАНИЕМ

К трамбовочным машинам относятся трамбующие плиты на экскаваторах и ударные взрывные трамбовки; ими могут уплотняться как связные, так и несвязные грунты.

Трамбующие плиты применяются в качестве навесного сменного оборудования к одноковшовым экскаваторам-драглайнам. Литые чугунные плиты весом 2—3,5 *т* свободно подвешиваются на канатах к стрелам экскаваторов; подъем и сбрасывание плиты может производиться автоматически (экскаваторы с ковшом 0,65 $м^3$) или главной лебедкой при подъеме и ручным механизмом при сбрасывании (экскаваторы с ковшом 0,8 и 1,25 $м^3$). Плиты удерживаются от раскачивания и вращения оттяжным канатом с вилочным концом. Уплотнение грунта производится на глубину до 1,5 *м*.

Положительным качеством трамбующих плит на экскаваторах является большая толщина уплотняемых слоев и, как следствие этого, повышенная производительность; однако высокая стоимость машино-смены экскаваторов отрицательно сказывается на экономике.

Наша промышленность осваивает трамбующую машину ДМ-104 на тракторе С-80; эта машина имеет две плиты, которые поочередно падают с высоты 1,5 *м*.

Новая конструкция трамбующей плиты ТПЭ-506А в жестких направляющих, смонтированных на экскаваторе Э-505, показана на рисунке 212.

---

[1] Г. Т. Дадаев. Новые машины для уплотнения грунта. «Механизация строительства» № 4, 1957.

Трамбующая плита размером 0,88 × 0,88 *м*, весом 2,57 *т* помещена в направляющую ферму *1*, шарнирно подвешенную к головке стрелы прямой лопаты и соединенную распоркой *2* с поворотной рамой экскаватора. Такое устройство исключает возможность раскачивания и вращения плиты при ее подъеме и при повороте платформы экскаватора. Высота подъема плиты 1—1,5—2 *м*. После подъема плиты на расчетную высоту клиновидный отсекатель отключает ее от подъемного троса и плита падает на грунт; одновременно отключается фрикцион барабана главной лебедки и вслед за падающей плитой опускается подъемный трос, на конце которого повешены клещи для захвата головки трамбующей плиты. Плита делает от 9 до 14 ударов в минуту.

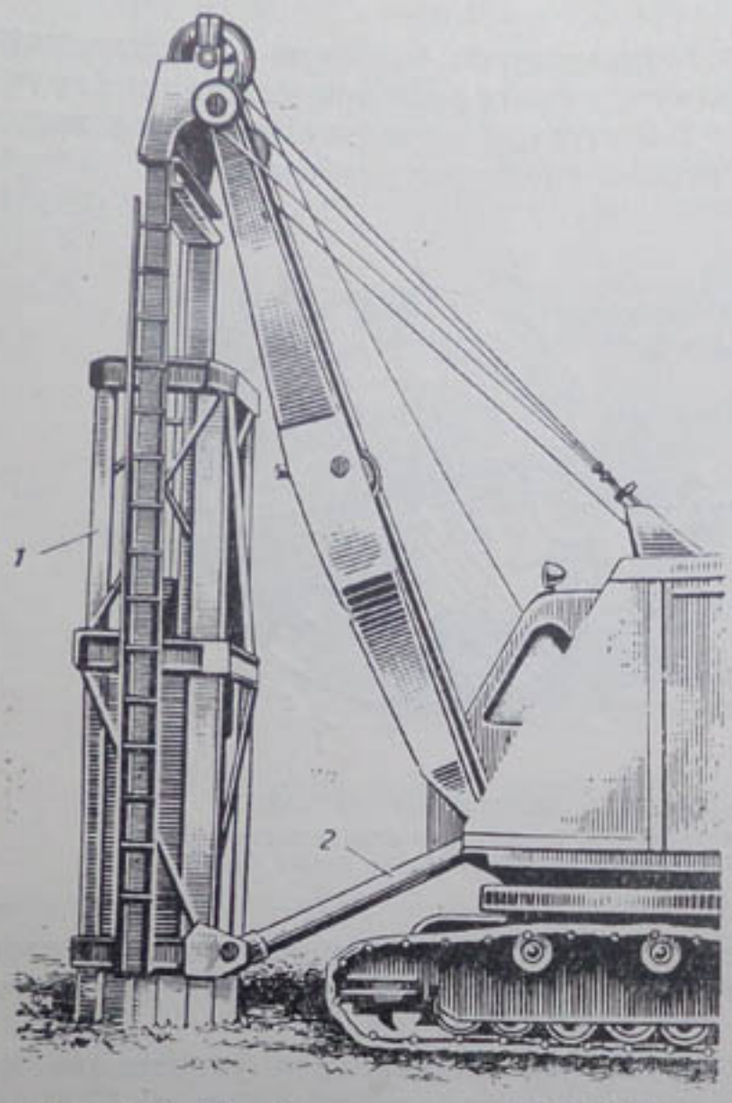


Рис. 212. Трамбующая плита ТПЭ-505А:
1—направляющая ферма; *2*—распорка.

Для уплотнения связных грунтов ненарушенной структуры на глубину 1 *м* необходимо произвести от четырех до шести ударов по одному следу за две проходки. Грунты, укладываемые слоями в 1—1,2 *м*, уплотняются пятью ударами за две проходки.

Производительность машины при уплотнении на 1 *м* равна 900 $м^3/см$, стоимость уплотнения 1 $м^3$ грунта составляет 50 коп. Работа производится по веерообразной схеме при движении экскаватора задним ходом вдоль уплотняемой полосы.

Взрывные трамбовки изготавливаются весом от 50 до 2500 *кг*. Основной их недостаток состоит в возможности работы только на высокосортном топливе—авиационном бензине или бензоле.

Вторым недостатком взрывных трамбовок является низкий коэффициент полезного действия—в работу превращается только 5% сгоревшего топлива. Высокая температура выхлопа служит причиной большого расхода смазочного масла.

Принципиальная схема взрывной трамбовки показана на рисунке 204,*б*. При пуске трамбовки засасывание смеси из карбюратора *1* производится подъемом и опусканием поршня *2* при помощи специального рычага *3*. Запальная свеча *4* воспламеняется от батареи, которая находится в специальном рюкзаке за плечами рабочего, путем нажатия на пусковую кнопку *5*. При этом давление в верхней полости цилиндра *6* повышается и цилиндр *6* поднимается. Поршни *2* и *7* при этом не поднимаются и, перекрывая отверстия *8*, сжимают воздух в нижней части цилиндра. Как только верхняя кромка поршня *2* достигнет выхлопного отверстия *9*, поршень под действием сжатого воздуха поднимается вверх и тянет за собой поддон *10*.

Прыжок трамбовки в целом осуществляется благодаря тому, что поддон *10* подтягивается к цилиндру *6* быстрее, чем сам цилиндр падает под действием силы веса.

Вследствие наклона оси цилиндра трамбовка с каждым прыжком вверх осуществляет и горизонтальное перемещение в сторону наклона цилиндра.

При падении трамбовки засасывается новая порция взрывной смеси, и она оказывается заряженной для нового прыжка. Высота прыжка трамбовки на плотном грунте изменяется от 0,25 до 0,40 *м*.

Трамбовка управляется с помощью ручек, шарнирно укрепленных на наружной поверхности рабочего цилиндра. Необходимое направление трамбовки производится поворотом ее вручную во время нахождения в воздухе.

В зависимости от вида грунта для его уплотнения требуется от двух до четырех проходок.

Толщина уплотняемого слоя для трамбовок весом 500 *кг* изменяется в пределах 40—60 *см*, а для трамбовок весом 1000 *кг*—от 60 до 80 *см*. Производительность взрывных трамбовок весом 500 *кг* составляет 100 $м^3/см$ в глинистых грунтах, 130 $м^3/см$ в суглинистых и 150 $м^3/см$—в супесчаных. Производительность взрывных трамбовок весом 1000 *кг* примерно вдвое выше. Для

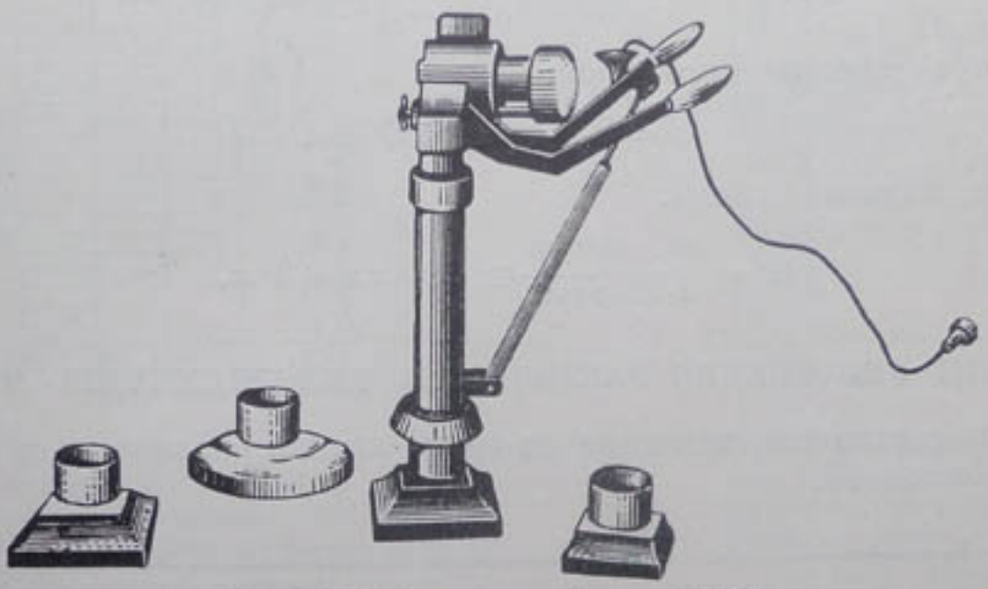


Рис. 213. Электротрамбовка Д-253.

уплотнения рыхлых грунтов взрывные трамбовки непригодны, так как вследствие малых высот прыжка движение их вперед делается невозможным.

Для уплотнения грунтов в очень стесненных местах (нешироких по верху дамб оросительных каналов, в местах сопряжения насыпи с бетонными сооружениями, например при уплотнении глиняных понуров) может быть использована электротрамбовка Д-253 (рис. 213), обслуживаемая одним рабочим и имеющая производительность 8—10 $м^3/час$ при максимальной глубине уплотнения 0,40 *м*. Она делает 500—530 ударов в минуту; размах колебаний рабочего органа составляет 28—33 *мм*; площадь ее сменного рабочего органа равна 0,07÷0,09 $м^2$; вес трамбовки 42 *кг*. Электродвигатель мощностью 10 *квт* помещается в верхней части трамбовки. Обойма трамбовки монтируется в ее корпусе из трубы, где помещается шток с поршнем и набор пружин. К нижнему концу штока присоединен съемный рабочий орган. Во время работы двигателя обойма, шарнирно соединенная при помощи пальца с нижней частью шатуна, совершает возвратно-поступательные движения.

Для определения оптимальных параметров грунтотрамбующих машин Н. И. Наумец[1] на основании теоретических и экспериментальных исследований рекомендует следующие расчетные формулы:

$$a = \sqrt[3]{\frac{3Q(5k - 3k^2 - 2)}{0{,}7\gamma(k-1)}},$$

где a — размеры стороны квадратной трамбующей плиты в *см*;

Q — вес трамбующей плиты в *кг*;

γ — объемный вес уплотненного грунта в $кг/см^3$;

k — коэффициент восстановления удара при трамбовании.

[1] Н. И. Наумец. К расчету грунтотрамбующих машин. «Строительное и дорожное машиностроение» № 4, 1958.

Толщина уплотняемого слоя h определяется из выражения $h \simeq 0{,}7\ a$.

Высота H падения трамбующей плиты определяется по формуле Н. П. Вощинина:

$$H = \frac{\sigma^2 h a^2}{2Q\varepsilon}\ см,$$

где σ — предел прочности грунтов в $кг/см^2$;

ε — модуль деформации грунта в $кг/см^2$; по Н. Я. Хархута, $\varepsilon = 150 \div 200\ кг/см^2$, $\sigma = 6 \div 20\ кг/см^2$.

Пример. Дано: $Q = 3000\ кг$, $\gamma = 0{,}002\ кг/см^3$, $k = 0{,}25$, $\sigma = 8\ кг/см^2$, $\varepsilon = 150\ кг/см^2$.

Сторона квадратной трамбующей плиты:

$$a = \sqrt{\frac{3 \cdot 3\,000\,(5 \cdot 0{,}25 + 3 \cdot 0{,}25^2 - 2)}{0{,}7 \cdot 0{,}002\,(0{,}25 - 1)}} \simeq 180\ см.$$

Толщина уплотняемого слоя:

$$h = 0{,}7 \cdot 1{,}8 \simeq 130\ см.$$

Высота падения плиты:

$$H = \frac{8^2 \cdot 130 \cdot 180^2}{2 \cdot 3000 \cdot 150} \simeq 300\ см = 3\ м.$$

§ 10. ЭФФЕКТ УПЛОТНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ УПЛОТНЯЮЩИМИ МАШИНАМИ

Данные о величине давления на грунт катков различных типов приведены в таблице 37.

Таблица 37

Уплотняющая машина	Удельное давление в $кг/см^2$ при вдавливании катка в см			
	0,5	1	2	3
Каток моторный трехвальцовый весом 5,5 $т$ (при передаче 67% веса на ведущие задние вальцы)	3,9	2,8	2,0	1,6
Каток моторный тяжелый весом 10 $т$ (при передаче 67% на ведущие задние вальцы)	7,7	5,3	4,0	3,2
Каток прицепной гладкий Д-126А с дополнительной нагрузкой	4,6	3,3	2,3	1,9
Каток кулачковый Д-130А	—	37—57	—	—
Трактор С-80	—	0,48	—	—
Автомобиль грузовой	—	2,5—7,0	—	—
Каток кулачковый Д-220	—	59—107	—	—

Как видно из этой таблицы, кулачковые катки обеспечивают наибольшее давление на грунт по сравнению с другими уплотняющими машинами. Напомним, что удельное давление на грунт от ступни человека равно 0,3—0,4 $кг/см^2$.

Гладкие катки дают весьма неравномерное уплотнение отсыпаемого слоя по толщине, что видно из рисунка 214, где показаны результаты уплотнения лессовидного суглинка на работах Чирчикстроя гладкими катками весом 4,5 $т$ и легкими кулачковыми катками весом 1,527 $т$. Число проходок катков (18) и влажность грунта (14,6%) были одинаковы. График показывает, что при уплотнении гладкими катками разница в объемном весе по высоте слоя 15 $см$ доходит до 0,35 $т/м^3$. Для более равномерного уплотнения необходимо уменьшить толщину уплотняемого слоя.

Кулачковыми катками значительно меньшего веса достигается весьма равномерное уплотнение по всей толщине отсыпаемого слоя. Если взять за контрольный вес грунта его значение при укатке кулачковыми катками

(1,87 *т/м*³), то при укатке гладкими катками следовало бы взять толщину отсыпаемого слоя только в 7,5 *см* (пунктирная линия на рисунке 214).

Таким образом, кулачковые катки втрое меньшего веса, чем гладкие, дали в одинаковых условиях то же уплотнение, что и гладкие, но при толщине уплотняемого слоя, вдвое большей.

При укатке гладкими катками в верхней части уплотняемого слоя образуется корка, воспринимающая на себя вес катка и резко ослабляющая его действие на нижележащую часть слоя. При уплотнении кулачковыми катками корка в верхней части также образуется, так как в начале укатки каток опирается на грунт всей своей поверхностью и работает с уменьшенным

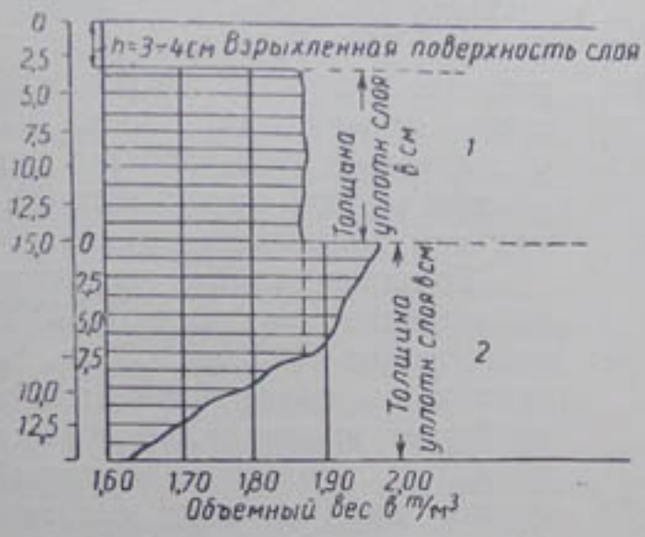


Рис. 214. Распространение уплотнения по толщине укатываемого слоя лессовидного суглинка при катках:
1—кулачковом; *2*—гладком.

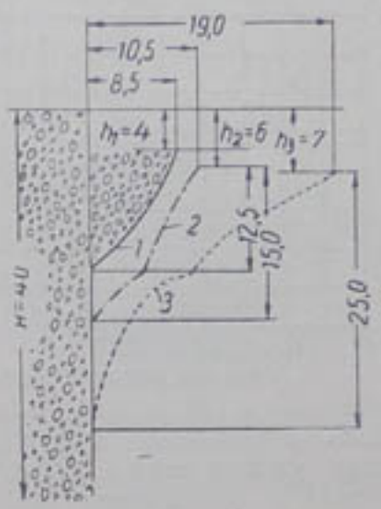


Рис. 215. График смещения галечникового грунта при укатке прицепным гладким катком и гоне в одну сторону:
1—смещение грунта при шести проходках катка; *2*—то же, при 11 проходках катка; *3*—то же, при 29 проходках катка; h_1, h_2, h_3—усадки грунта при укатке.

удельным давлением. При дальнейших проходках кулачки разрезают корку, перемешивают грунт и уплотняют нижележащие слои.

При вдавливании гладкого катка впереди его образуется бугор (волна), так как равнодействующая от веса катка и тягового усилия направлена с отклонением от вертикали в сторону движения. В результате получается сдвиг частиц по ходу катка. Это явление тем интенсивнее, чем больше мелких фракций в грунте и чем меньше сцепление. При работе кулачковых катков, в которых действие катка приближается к трамбованию, это явление почти не наблюдается. Насколько значительны горизонтальные перемещения частиц грунта, можно видеть на рисунке 215, на котором представлены результаты опытов Чирчикстроя по смещению вертикальной стеночки из мела, заложенной перед укаткой галечникового слоя 5-тонным гладким катком. У кулачковых катков, действие которых сводится к перемешиванию и трамбованию грунта, смещения стеночки почти не наблюдается.

Для уменьшения волнообразования современные моторные катки делаются двух- и трехбарабанными, причем бóльшая часть давления передается на задние барабаны. Этим создается как бы двухстепенное уплотнение при проходе катка, причем передний барабан осуществляет предварительное уплотнение, а задний—последующее и более значительное уплотнение. Волна почти не образуется, так как задний барабан действует на слой, подвергшийся предварительному уплотнению.

Кулачковые катки создают шероховатую поверхность, что способствует хорошему сопряжению одного слоя с другим; наоборот, при применении цилиндрических катков поверхность получается гладкой, и для лучшего сопряжения отдельных слоев рекомендуется бороновать укатанный слой перед насыпкой следующего. Как видно из изложенного, кулачковые катки имеют огромные преимущества перед гладкими (прицепными и моторными

при уплотнении связных грунтов, когда строителям приходится разрешать два основных вопроса: о толщине слоев и о необходимом числе проходок катка.

Отсыпка плотины при работе гладкими катками должна производиться горизонтальными слоями толщиной 15 *см* в рыхлом состоянии; это относится к каткам весом не менее 3 *т*. Как можно видеть из рисунка 214, в ряде случаев даже эта небольшая толщина укатываемого слоя является чрезмерной. Это подтверждается также графиком (рис. 216), на котором показаны результаты опытов А. С. Егорова при уплотнении насыпи десятью проходками 10-тонного катка. Из графика видно, что даже при применении тяжелых катков с двухстепенным уплотнением передними и задними вальцами толщина уплотняемых слоев не может быть больше 0,10—0,12 *м*. Окончательное решение вопроса о допустимой толщине отсыпаемых слоев должно устанавливаться пробными укатками при заранее определенной оптимальной влажности грунта.

Рис. 216. Уплотнение насыпи при разных толщинах уплотняемого слоя и 10-тонном катке.

Толщина слоев, уплотняемых кулачковыми катками Д-130А, изменяется от 0,25 до 0,35 *м*. Число проходок катка определяется также пробными укатками. После каждой проходки определяют объемный вес грунта или процент уплотнения; результаты наносят на график. По оси абсцисс наносят число проходок катка, а по оси ординат—объемный вес грунта или процент уплотнения. От точки, определяющей значение контрольного объемного веса (или процент уплотнения), проводят прямую, параллельную оси абсцисс, и на пересечении ее с опытной кривой определяют необходимое число проходок. Если указанная прямая пройдет выше опытной кривой, то это показывает, что катком данного веса достичь требуемого уплотнения невозможно. В этом случае нужно либо взять каток большого веса, либо уменьшить толщину отсыпаемого слоя.

Производительность кулачковых катков значительно больше, чем гладких, а стоимость укатки соответственно ниже. Таким образом, и по своим производственно-экономическим показателям кулачковые катки имеют крупные преимущества как перед гладкими прицепными, так и перед моторными катками.

§ 11. УПЛОТНЕНИЕ ВИБРАЦИОННЫМИ МАШИНАМИ

Уплотнение бетонной смеси вибрацией, т. е. высокочастотными колебаниями с небольшой амплитудой, получило широкое распространение; применение вибрации для уплотнения земляных насыпей в производственных масштабах у нас пока только начинается.

Под влиянием колебательных движений отдельные частички грунта отрываются от общей массы, приходят в движение и перемещаются вниз. Относительные перемещения частиц происходят тем быстрее, чем меньше сцепление между ними и чем больше разница в массах отдельных частиц. Поэтому несвязные грунты, состоящие из частиц различной крупности со слабыми связями между ними, успешно уплотняются вибрированием; наоборот, суглинки и глины, обладающие значительным сцеплением и более однородные по своему гранулометрическому составу, как правило, вибрированием не уплотняются.

Уплотнение наиболее эффективно, когда частота вынужденных колебаний машины совпадает с частотой колебаний уплотняемого грунта, т. е. при явлении резонанса. Плотность уплотняемых грунтов и предельная глубина

уплотнения пропорциональны весу вибратора; последнее справедливо до глубин, не превышающих минимального размера опорной площадки вибратора в плане. Поэтому для уплотнения грунтов поверхностной вибрацией требуются машины большого веса.

На эффективность вибрационного уплотнения грунтов существенно влияет их влажность, которая должна быть оптимальной; лучше, если она на 10—30% больше оптимальной. Принципиальная схема прицепной вибрационной машины С-315 представлена на рисунке 217. Внутри вибрационной плиты *1* укреплены виброэлементы *2* с эксцентриковой нагрузкой; на подмоторной плите *3*, амортизированной при помощи пружин *4*, установлены электродвигатели *5* для привода виброэлементов. Последние вращаются в противоположных направлениях и горизонтальные составляющие центробежных сил уравновешены. Зона активного действия вибратора не выходит за контуры его площадки. Вес машины в рабочем состоянии 6,5 *т*, возмущающая сила 10 850 и 18 000 *кг*, частота колебаний 750 и 980 в минуту; размеры вибрационной плиты в плане 1,85×1,43 *м*, мощность двигателей 80 *квт*; толщина уплотняемого слоя при оптимальной влажности 0,8—0,9 *м*.

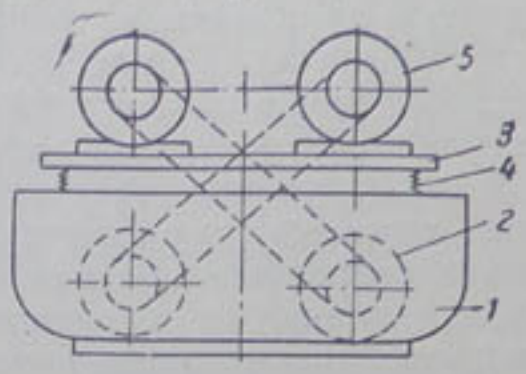


Рис. 217. Принципиальная схема машины С-315:

1—вибрационная плита; *2*—виброэлементы с эксцентриковой нагрузкой; *3*—подмоторная плита; *4*—амортизационные пружины; *5*—электродвигатели.

Для подсчета толщины h уплотняемого слоя Н. И. Наумец[1] рекомендует использовать формулу распространения колебаний:

$$y_{\text{п}} = \frac{y_1 h_1}{h_{\text{п}}} l^{-a(h_{\text{п}} - h_1)},$$

где $y_{\text{п}}$ — минимальная амплитуда колебания грунта на глубине $h_{\text{п}}$, при которой еще может происходить уплотнение, т. е. на наибольшей возможной глубине уплотнения;

y_1 — амплитуда колебания на глубине h_1;

a — коэффициент затухания колебаний.

Приняв $h_1 = 1$ *см* и считая, что на такой глубине для тяжелых грунтоуплотняющих вибромашин амплитуду колебания грунта без большой погрешности можно заменить амплитудой колебания вибромашины $y_{\text{в}}$, Н. И. Наумец дает расчетную формулу:

$$h_{\text{п}} = \frac{a y_{\text{в}} + y_{\text{п}}}{y_{\text{в}} a^2} + \sqrt{\frac{(a y_{\text{в}} + y_{\text{п}})^2}{y_{\text{в}}^2 a^4} - \frac{2}{a^2}}.$$

Пример. Дано: $a = 0{,}025$; $y_{\text{в}} = 0{,}4$ *см*; $y_{\text{п}} = 0{,}005$ *см*. Толщина уплотняемого слоя:

$$h_{\text{п}} = \frac{0{,}025 \cdot 0{,}4 + 0{,}005}{0{,}4 \cdot 0{,}025^2} + \sqrt{\frac{(0{,}025 \cdot 0{,}4 + 0{,}005)^2}{0{,}4^2 \cdot 0{,}025^4} - \frac{2}{0{,}025^2}} = 80 \text{ см}.$$

§ 12. УПЛОТНЕНИЕ ТРАКТОРАМИ, ПОПУТНЫМ ПРОЕЗДОМ; УПЛОТНЕНИЕ СУХОГО ГРУНТА С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЗАМОЧКОЙ

Уплотнение тракторами. Удельное давление трактора С = 80 на грунт составляет 0,48 *кг/см²* против 1,9—4,6 *кг/см²* — для гладких катков, 40—60 *кг/см²* — для кулачковых катков Д-130А и 5—6 *кг/см²* — для катков на пневматических шинах. Поэтому ожидать эффективного результата от укатки одним трактором без катка не приходится. Для надлежащего уплотнения необходимо значительно увеличить число проходок и уменьшить толщину отсыпаемых слоев. Это ясно видно по рисунку 202: для уплотнения до 104%

[1] Н. И. Наумец. К теории уплотнения грунта машинами. Труды Харьковского автодорожного института. Сборник № 6, 1939.

одним трактором требуется увеличить число проходок с четырех для 5-тонного катка до пятнадцати—для трактора, т. е. более чем в три раза. Предельное уплотнение трактором составляет 105% при двадцати проходках трактора: при необходимости большого уплотнения требуется уменьшение толщины отсыпаемого слоя. Укатка тракторами, согласно расчетам автора, стоит в 3—4 раза дороже, а производительность в 4—5 раз меньше, чем укатка кулачковыми катками.

По исследованиям Б. И. Рутковского, степень уплотнения грунта тракторами резко падает с увеличением толщины уплотняемых слоев; поэтому нерационально производить уплотнение слоями, толщина которых превышает 10 *см*. Уплотнение тракторами имеет ряд достоинств: маневренность тракторов, возможность работать без поворотов при укатке неширокой дамб и в условиях стесненного фронта. Однако даже в этих условиях более эффективно и экономично, по сравнению с тракторами, могут работать другие уплотняющие машины, например тяжелые взрывные трамбовки. Поэтому с технико-экономической точки зрения укатка тракторами не должна допускаться.

Уплотнение попутным проездом. Продвижение по уплотняемой насыпи землеройных и транспортных машин (скреперов и бульдозеров, грейдеров, разравнивающих доставленный на возводимую насыпь грунт, автомашин) сопровождается некоторым уплотнением насыпи; по данным исследований, уплотнение грунта по сравнению с резервом составляет 100—106—108% и достигает даже 125%.

Однако весьма трудно добиться равномерного по ширине насыпи движения этих машин; даже при равномерном движении грунт уплотняется только по следам гусениц трактора и колес скрепера и автомашин.

Поэтому уплотнение попутным проездом машин при возведении напорных гидротехнических сооружений можно рассматривать лишь как вспомогательное мероприятие (например, для уменьшения проходок катка), но не как основное.

Уплотнение с последующей замочкой. В безводных районах нередко возводят дамбы оросительных каналов из сухого грунта с последующей замочкой их после окончания постройки; в этом случае приходится трамбовать (укатывать) сухой грунт. Как объяснено ранее, пористость уплотненного грунта и коэффициент фильтрации при таком способе работ значительно больше, а устойчивость, вследствие впитывания значительного количества воды после нагрузки водой, меньше, чем при уплотнении грунта с оптимальной влажностью.

Возведенные таким способом дамбы обладают меньшей прочностью и поэтому нередко приходится наблюдать их прорывы, что сопровождается перерывом подачи воды на поля и материальными убытками.

Серьезным дефектом таких дамб является также значительно бóльшая фильтрация через них, что связано с усиленными потерями воды, а следовательно, со снижением к.п.д. ирригационной системы и повышением горизонта грунтовых вод. По этим причинам возведение дамб оросительных каналов из сухого грунта нельзя признать рациональным. Оно противоречит также широкому движению за экономию оросительной воды и за высокий к.п.д. оросительных каналов.

§ 13. ВЫБОР ГРУНТОУПЛОТНЯЮЩИХ МАШИН

В каждом конкретном случае необходимо выбирать такую машину, которая наиболее соответствует данным условиям в зависимости от характера грунта, фронта работ, ширины уплотняемых сооружений. Практика работ по уплотнению грунтов позволяет сделать следующие выводы.

При достаточной длине фронта работ и связных пластичных грунтах (суглинки, глины) подходящими машинами являются кулачковые катки разного веса с кулачками разной длины, катки на пневмошинах, взрывные трамбовки, трамбующие плиты.

При несвязных грунтах (пески, супеси) следует применять гладкие катки, катки на пневмошинах, вибромашины, машины динамического действия; при крупноблочных грунтах—гладкие катки, катки на пневматике, машины динамического действия, вибрационные машины.

При недостаточной длине фронта работ наилучшие результаты дают взрывные трамбовки с подошвой разных диаметров в зависимости от ширины уплотняемого сооружения, трамбующие плиты, самоходные катки. В случае уплотнения очень узкой полосы (сопряжения земляного сооружения с бетонным) целесообразно применять электротрамбовки, имеющие площадь уплотняющего органа 0,07—0,09 $м^2$. При выборе машин необходимо учитывать их технико-экономические показатели.

§ 14. РАЗРАБОТКА КАРЬЕРОВ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ НАСЫПЕЙ

Проект организации работ по карьеру должен охватывать: 1) разработку и удаление вскрыши и 2) разработку самого карьера.

Выбор землеройных машин для разработки вскрыши зависит от мощности слоя, объема работ и характера грунтов, слагающих вскрышу. Здесь могут быть применены экскаваторы с оборудованием в виде прямой и обратной лопаты, драглайны, скреперы, грейдер-элеваторы, а также гидромеханизация.

Решающее влияние на выбор землеройных машин для разработки карьеров имеет характер напластований. Если грунты карьера однородны или смесь грунтов, взятых с разных глубин, является подходящей для укладки в качественную насыпь, то можно применять экскаваторную или гидромеханическую разработку. Если грунты неоднородны по глубине, то нужно применять скреперы или грейдер-элеваторы, разрабатывающие грунты послойно.

При экскаваторной разработке в качестве транспортных приборов могут быть применены троллейвозы, автомобили с прицепами или ленточные транспортеры, а при больших дальностях возки грунта—и железнодорожный транспорт.

При разработке карьеров скреперами желательно работать в бункер с тем, чтобы свести к минимуму применение скреперов для возки на большие расстояния; для основной отвозки следует применять ленточные транспортеры, или автосамосвалы, желательно с прицепами. Рационально также использование большегрузных саморазгружающихся прицепов с трактором С-80 (Д-179А и Д-258).

§ 15. КОНТРОЛЬ НАД УПЛОТНЕНИЕМ ГРУНТОВ

Контроль при возведении качественных насыпей осуществляется в процессе производства работ, а также при сдаче законченных сооружений в эксплуатацию.

Контроль в процессе производства работ. При установлении необходимой степени уплотнения грунта контрольными показателями являются объемный вес скелета грунта $\gamma_к$, оптимальная влажность грунта при уплотнении W и коэффициент порозности $\varepsilon_к$. Так как $\gamma_к$ и $\varepsilon_к$ взаимно связаны уравнением

$$\varepsilon_к = \frac{\Delta - \gamma_к}{\gamma_к},$$

(где Δ — удельный вес грунта), то число контрольных показателей фактически равно двум.

Определение указанных констант весьма просто. Из насыпи берут две пробы металлическим цилиндром объемом 1000 $см^3$ (например, диаметр 107 и высота 111,22 $мм$). По доставке в лабораторию цилиндр с грунтом взвешивают, а затем высушивают до получения постоянного веса в сушильном шкафу или на железной, либо кирпичной печке (в последнюю вставляется металлический лист, на который предварительно насыпается слой песка).

Фактический объемный вес скелета $\gamma_ф$ определяют по формуле

$$\gamma_ф = \frac{P_с}{V},$$

где $P_с$ — вес высушенного в цилиндре грунта;

V — объем цилиндра.

Если $\gamma_ф < \gamma_к$, то соответствующее место в плотине подлежит дополнительному уплотнению; об этом сообщают производителю работ и делают отметку в журнале контрольного поста. После дополнительного уплотнения указанного места производят вторичный контроль, и снова заносят результаты в журнал. Если и вторичный контроль покажет недостаточное уплотнение, то уплотняют еще раз до получения удовлетворительных результатов.

Влажность $W_ф$ определяют по формуле:

$$W_ф = \frac{P_{вл} - P_с}{P_с} 100,$$

где $P_{вл}$ — вес влажного грунта в стакане (до сушки).

Взвешивание производят с точностью до 1 *г*; цилиндры нумеруют. Для определения γ и W необходимо иметь стальные цилиндры для взятия проб, весы, сушильный шкаф или печку для высушивания. Контроль очень прост и вполне доступен даже на небольших стройках.

При расхождении в весе каждой из двух проб, меньшем 2%, берут за окончательный средний вес. Если расхождение в весе больше 2%, то анализируют причину расхождения (камень, сухое место, след транспортного прибора и т. д.) в одном из образцов и пользуются для расчетов результатами по второму образцу. Если причину расхождения образцов в весе установить не удается, то отбор образцов повторяется. Если уплотнение какого-либо слоя почему-то внушает сомнение, то берут еще дополнительные пробы на фильтрацию.

Взятие проб заносится на месте в журнал, в котором отмечается место взятия пробы в плане и по вертикали, дата взятия пробы, номер ее, а также условия погоды, работы и пр. Результаты анализов заносят в журнал по контролю.

Кроме проб, отбираемых по всей площади сооружения, систематически отбирают также пробы по заранее разбитым поперечникам. Пробы отбирают после уплотнения каждого отсыпаемого слоя, а влажность грунта проверяют перед началом уплотнения.

Если связный грунт в карьере переувлажнен, то его подсушивают путем прорытия осушительных канав. Можно добиться снижения влажности грунта провяливанием его после отрывки, но это существенно удорожает стоимость разработки. Если связный грунт в карьере, наоборот, чрезмерно сух, то путем устройства открытых канав с подачей в них воды можно повысить влажность.

Подсушивать грунт, в случае надобности, можно и в самом сооружении, временно приостановив работы по уплотнению, что, однако, нежелательно; необходимое доувлажнение достигается поливкой.

Массовый контроль уплотнения можно производить также плотномерами, заранее протарированными для данного грунта. Плотномеры применялись на канале имени Москвы, на Чирчикстрое и других стройках. В качестве подсобного прибора, позволяющего производить быстрый и массовый контроль, они весьма полезны; но основывать на них весь контроль не следует.

Плотномеры изготовляются пружинными и ударными. Контроль пружинным прибором ведется по степени необходимого нажатия на пружину для получения заданной осадки.

По результатам тарирования плотномера можно определить объемный вес грунта и сравнить его с контрольным; ввиду деформации пружины тарировку нужно повторять.

Можно определять плотность насыпи по глубине погружения рабочего конца при падении груза постоянного веса с одинаковой высоты. Этот простой прибор не изменяет показаний во времени. Опробование плотномером плотности слоя должно производиться немедленно после окончания укатки с тем, чтобы результаты контроля были даны не позже часа после окончания укатки.

Результаты, полученные плотномером, наносят на планы данного слоя и записывают в журнал. Частота опробования плотномером изменяется от 1 до 100 $м^2$ (по квадратам).

Пробы цилиндром для определения объемного веса берут в точках средних показаний плотномеров и в точках наибольших отклонений от средних показаний (в меньшую сторону). При взятии проб цилиндром желательно одновременно брать пробы плотномером.

Для проверки качества уплотнения экранов в них следует закладывать шурфы не реже чем через 5 *м* по высоте и через 20 *м* по горизонтали.

Контрольный пост представляет ежедневную отчетность по производственной работе. Отчет о работе по уплотнению законченного укаткой слоя должен представляться не позднее 24 часов после окончания укатки.

Кроме взятия проб цилиндрами и их анализа, а также определения уплотнения плотномером, при контроле качества возведения насыпей должен выполняться также ряд наблюдений.

Следует наблюдать за тем, чтобы грунт поступал из назначенного для данного сооружения карьера и чтобы качество его соответствовало установленному по проекту.

Если в карьере имеются прослойки, следует сортировать грунт, направляя негодный в отвалы.

Чрезмерно сухой грунт должен доводиться до состояния оптимальной влажности, что может выполняться либо в карьере, либо при укладке в насыпь. В первом случае применяется замочка отдельных участков карьера или устройство сети канав, в которые напускается вода, или прокладка перфорированных трубопроводов.

Увлажнение грунта в насыпи производится либо из автоцистерн с перфорированными трубами, либо из временной водопроводной сети с подачей воды брандспойтами. Для обеспечения равномерного увлажнения грунт боронуют дисковой бороной. В случае поступления в насыпь переувлажненных грунтов и образования недостаточно уплотненных зыбучих трясин производство работ должно быть приостановлено, трясинистые места раскопаны, просушены и вновь заделаны грунтами надлежащей влажности. Перед укаткой каждого последующего слоя должно производиться рыхление предыдущего для обеспечения хорошего сопряжения отдельных слоев.

При отсыпке плотин из разнородных грунтов надо особенно внимательно следить за правильной отсыпкой отдельных грунтов. Необходимо также наблюдать за правильным взаимным ростом отдельных частей плотины по высоте. Так, например, пригрузка экрана не должна отставать от его укладки более чем на 1—2 *м* по высоте. При перерывах в производстве работ вся выполненная часть экрана должна прикрываться пригрузками.

Попавшие в качественную насыпь куски дерева, доски, мерзлые комья и другие предметы должны быть удалены.

Нельзя допускать скопления в теле насыпи камней, расположенных гнездами, а тем более цепочками.

Необходимо принимать решительные меры для доуплотнения участков насыпи, оказавшихся недостаточно уплотненными.

Контроль качества законченных сооружений при сдаче их в эксплуатацию осуществляется по журналам контрольных постов и полевых лабораторий, а также по составленным в процессе работ актам. В сомнительных случаях следует закладывать шурфы со взятием из них проб и производством лабораторных анализов.

§ 16. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО ВОЗВЕДЕНИЮ УКАТАННЫХ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН

Возведение качественных насыпей начинают с подготовительных работ, затем отрывают котлованы замков, зубьев и понуров (если они предусмотрены проектом), после чего приступают к отсыпке грунта с надлежащим уплотнением.

Подготовительные работы. К ним относятся: разбивка сооружений, отрывка нагорных канав, рубка и корчевка леса, кустарника, удаление растительного слоя, устройство водопровода для поливки, а также подготовка карьера к разработке. Должны быть произведены лабораторные исследования грунтов карьеров и установлены оптимальная влажность и контрольный объемный вес скелета грунта.

Отрывка котлованов и подготовка оснований. В основании плотины должны быть сняты ненадежные и сомнительные грунты до проектных отметок, иначе говоря, отрыт котлован необходимой глубины.

При отсыпке ограждающих дамб, а также дамб постоянных оросительных каналов обычно ограничиваются снятием растительного слоя. Под дамбами временных оросителей растительный слой не снимается.

Размеры котлована для плотин по дну должны быть больше размеров сооружения, с учетом возможности размещения канав, колодцев и установок водоотлива, складирования материалов, устройства дорог и других вспомогательных сооружений.

В целях удешевления вынутый из котлована и негодный для насыпи грунт целесообразно складывать в отвал в верхнем бьефе перед плотиной, примыкающей к верховому откосу, а не вывозить на берег реки по дороге с крутым подъемом в грузовом направлении. Если грунты, вынутые из котлована, можно использовать для пригрузки понура, то их укладывают в промежуточный отвал в верхнем бьефе вблизи понура.

Во избежание переборов дно и откосы котлованов отрывают с недобором около 0,30 *м*, который добирают перед самым началом отсыпки при планировке котлована.

Если между отрывкой котлована и началом отсыпки проходит значительное время, то во избежание разбухания или усадки грунтов основания оставляется защитный слой, толщина которого определяется в зависимости от длительности перерыва между отрывкой котлована и отсыпкой насыпи и от физических свойств грунта.

Ключи, обнаруженные на дне котлована под телом земляной плотины, либо заделывают, либо дренируют и отводят в нижний бьеф.

Буровые скважины в пределах основания плотины нужно затампонировать до отсыпки, о чем составляется акт.

Перед насыпкой первого слоя основание взрыхляют зубчатой бороной для лучшей связи с насыпью.

Перед отсыпкой плотины составляется акт о состоянии основания, пригодности его для насыпки и о проделанных по основанию работах. Без составления такого акта насыпка плотин или дамб не разрешается.

Механизация отсыпки земляных плотин. Удаление растительного слоя можно производить бульдозерами при небольшой дальности возки (до 50 *м*) или скреперами. При значительных дальностях возки для снижения стоимости и повышения производительности целесообразна работа с центральным бункером.

При заложении котлована ниже горизонта грунтовых вод необходимо его осушить, применив поверхностный или глубинный водоотлив. Выбор того или иного способа осушения производится в зависимости от характера грунтов, глубины котлована, необходимого водопонижения и интенсивности его. Колодцы глубинного водоотлива следует располагать вне грани котлована, чтобы они не мешали работе землеройных и транспортных машин.

Неглубокие котлованы можно разрабатывать грейдер-элеваторами, бульдозерами или скреперами.

Если часть грунта, вынимаемого из котлована, пригодна по своим качествам к укладке в плотину, то при разработке котлована следует производить сортировку грунта и транспортировать его в два отвала с укладкой пригодного для плотины грунта в ближайший к плотине промежуточный отвал, а непригодного—во второй отвал, расположенный за первым.

Глубокие котлованы можно разрабатывать механическими лопатами, грейдер-элеваторами, скреперами или будьдозерами с устройством при необходимости центрального бункера для последних.

Для отвозки грунта целесообразно применять атвосамосвалы с прицепами, ленточные транспортеры, допускающие крутые руководящие подъемы, троллейвозы. Можно применять отвозку грунта тракторами С-80 с саморазгружающимися большегрузными прицепами Д-179А и Д-257.

При осушке котлована зуба плотины целесообразно использовать иглофильтровые установки в один или два яруса, в зависимости от глубины водопонижения.

Разрабатывать зубья можно драглайнами, обратной лопатой, грейферными экскаваторами; при широких котлованах под зубья разработку можно выполнять механическими лопатами, скреперами или бульдозерами. Выбор способа разработки зависит от соотношения ширины котлована под зуб и габарита землеройных машин, а также от технико-экономического эффекта их работы.

Доставленный на плотину грунт разравнивают бульдозерами или грейдерами.

Возведение насыпей и их уплотнение. Разгружать доставленный в насыпи грунт следует не в случайных местах, а по заранее разработанной схеме: полосами по длине плотины, постепенно сдвигающимися от одного края плотины к другому (по ширине ее). Отсыпка плотины начинается с самых низких ее точек и производится горизонтальными слоями или слоями, слабо наклоненными (до 0,5%) к напорному откосу.

Необходимость отсыпки плотин горизонтальными слоями объясняется не только условиями наилучшей связи отдельных слоев, но и технико-экономическими соображениями. Действительно, при уплотнении прицепными катками с маятниковым их движением число катков, которые может тащить трактор, при наклонных слоях в направлении движения будет больше, чем при горизонтальных, и меньше при движении на подъем. Так как нужно выбирать наиболее невыгодные условия работы трактора, то при движениях на подъем к трактору можно прицепить меньшее количество катков, чем при горизонтальных слоях. Следовательно, и уплотнение наклонных слоев будет дороже, чем горизонтальных.

При доставке грунта автомобилями для них нужно укладывать переносные автодороги с разъездами с обеих сторон; грунт разгружается в обе стороны на разъездах для того, чтобы не мешать движению курсирующих автомобилей. Число разъездов должно быть рассчитано с учетом числа работающих автомобилей, их оборачиваемости, сроков разгрузки грунта и числа машин, обслуживаемых одним разъездом.

После окончания разгрузки на данной полосе переходят на следующую, а там, где насыпан грунт, начинают его разравнивание по ширине полосы бульдозером или грейдером. При применении автолежневой дороги необходимо при переносе ее проверять отдельные щиты, лежни и другие деревянные части для того, чтобы до начала разравнивания убедиться в уборке всех деревянных частей. Необходимо этот контроль неуклонно и строго выполнять при каждом переносе дороги, иначе неизбежна засыпка грунтом неубранных деревянных частей, что недопустимо. Более рационально, однако, применять переносные колейные автодороги из армированных плит.

Отсыпка плотин должна выполняться с расчетом получения после разравнивания горизонтальных слоев заданной в проекте толщины.

Если в поперечном сечении имеются зубья (для экрана, диафрагмы), то прежде всего отрывают траншеи для них и засыпают слоями ниже основания плотины. Отсыпка диафрагмы и дренажной призмы с антифильтром должна несколько опережать возведение основного тела плотины с тем, чтобы избежать образования пазух с их крайне стесненным фронтом работ.

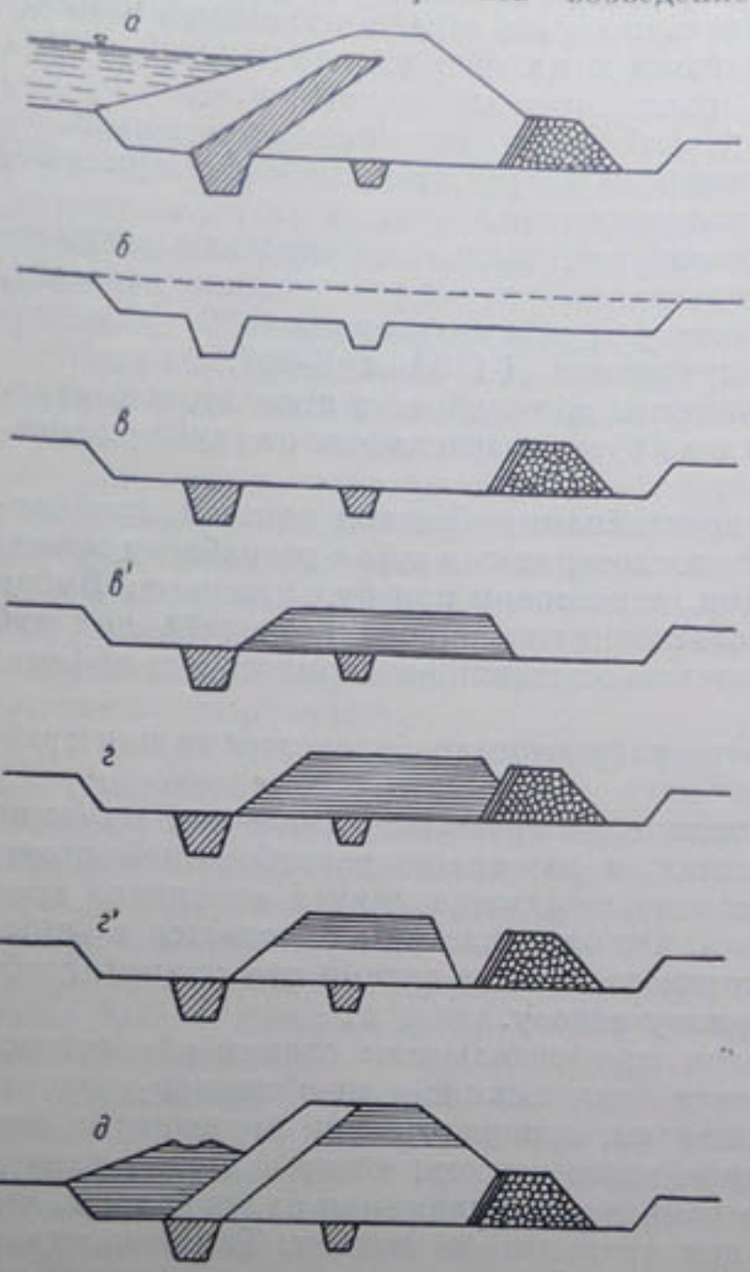


Рис. 218. Последовательные этапы возведения земляной плотины:

а—поперечный разрез плотины; *б*—отрывка котлована и зубьев; *в*—заполнение зубьев и укладка дренажной призмы с антифильтром (правильно); *в'*—отсыпка плотины до укладки дренажной призмы (неправильно); *г*—отсыпка тела плотины слоями с разравниванием и уплотнением (правильно); *г'*—возведение дренажной призмы после отсыпки части плотины по высоте (неправильно); *д*—возведение части экрана с небольшим отставанием по сравнению с отсыпкой тела плотины с немедленной его пригрузкой.

Представляется целесообразным, если только это возможно по условиям работ, дренажную призму заканчивать до начала отсыпки тела плотины для того, чтобы обе эти работы не мешали одна другой, а возможность образования пазух у дренажной призмы была бы исключена. Во всяком случае необходимо, чтобы диафрагма (если она имеется) и дренажная призма укладывались с некоторым опережением по высоте относительно тела плотин.

Наоборот, экран должен укладываться с некоторым отставанием по высоте относительно тела плотины. Пригрузка экрана, во избежание его порчи при высыхании во время жаркой погоды или переувлажнений во время дождей, должна выполняться немедленно после его укладки; это относится и к понуру. Схема последовательного возведения плотины по высоте показана на рисунке 218.

За разравниванием доставленного грунта следует его уплотнение слоями заданной толщины с применением уплотняющих машин, предусмотренных проектом производства работ. Перед массовой отсыпкой заданную в проекте толщину уплотняемого слоя и число проходок нужно проверить на опытной площадке, под которую можно отвести участок на самой плотине. Пробному уплотнению должны подвергаться грунты, из которых будут возводиться плотина и отдельные ее части. В результате пробного уплотнения составляется график (рис. 202), по которому по $\gamma_{\text{изм}}$ можно определить окончательное число проходок и толщину уплотняемого слоя.

Если плотину уплотняют катками, то даже при проходе трактора у самой бровки (при сцепе катков в один след) получается неуплотненный слой шириной 0,58 *м* (ширина трактора С-80 2,46 *м*, а ширина барабана катка 1,30 *м*), поэтому части плотины вблизи откосов нужно уплотнять, работая в два следа. Так как трактор не может идти по самой бровке, то и при сцепе в два следа около откоса остается недоуплотненный слой. На некото-

рых стройках отсыпку насыпи производят на 0,15 *м* шире проектной ширины ее с последующей срезкой насыпи под проектный профиль. Однако такое решение обходится дорого. Можно обойтись без лишних земляных работ, если, кроме нормальной укатки плотины, производить время от времени еще специальную укатку откосов с подъемом и опусканием катков по откосу при помощи каната и лебедки. Специальное уплотнение откосов следует предусматривать и при применении других уплотняющих машин.

Уплотнять гладкими катками и тракторами не следует ввиду низкой эффективности (малая толщина уплотняемых слоев, волнообразование, неравномерность уплотнения по высоте слоев и т. д.) и дороговизны этого способа.

Для обеспечения качественной укладки надо вести непрерывный контроль за уплотнением, а выявленные недоуплотненные места немедленно подвергать дополнительному уплотнению.

Во время сильных дождей следует прикрывать уплотняемый грунт рогожами, брезентом, досками; особенно важно это делать при отсыпке наиболее ответственных частей (зуб, экран, понур).

Если поперечное сечение плотины проектируется из различных грунтов, то внутренние границы между разнородными грунтами поверяются легкими переставными шаблонами. При перестановке шаблонов стойки их выдергивают, а оставшиеся отверстия засыпают грунтом и утрамбовывают длинными шестами.

§ 17. ВОЗВЕДЕНИЕ ДРЕНАЖНОЙ ПРИЗМЫ И ОБРАТНОГО ФИЛЬТРА В РУСЛОВЫХ ПЛОТИНАХ

Обычно при постройке русловых земляных плотин, возводящихся гидромеханизированным способом, русло перекрывают отсыпкой каменного банкета с присыпкой к нему в воду обратного фильтра (рис. 219, *а*). Если под банкетом запроектирован горизонтальный фильтр, то он отсыпается заранее до отсыпки банкета.

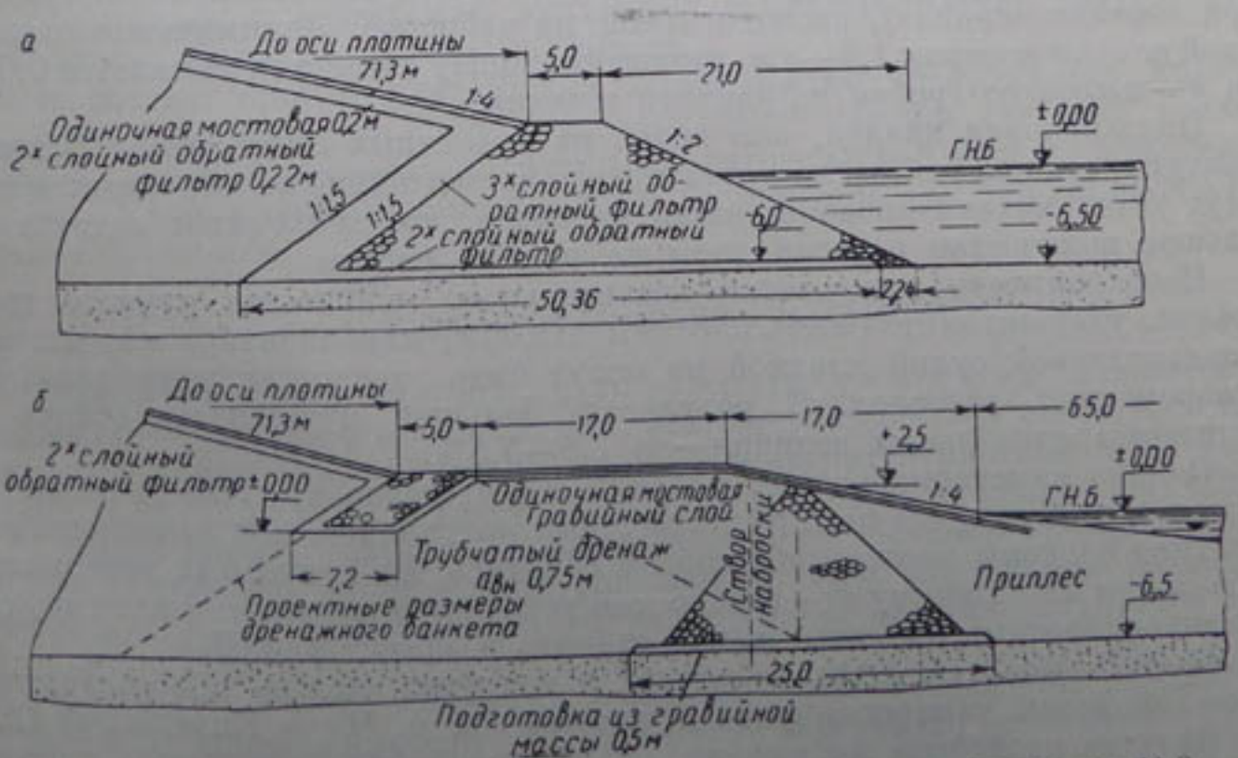


Рис. 219. Конструкции дренажа руслового участка земляной плотины № 3 Горьковского гидроузла:

а—прежнее решение (совмещение обратного фильтра с банкетом); *б*—новое решение (устройство обратного фильтра отдельно от банкета).

Совмещение банкета, необходимого для перекрытия прорана, с обратным фильтром, обычно предусматриваемое в проектах (до 1952 г.), не гарантирует, однако, качества обратного фильтра и осложняет производство работ.

Исследования А. Я. Краснова[1] на строительстве Горьковской ГЭС показали, что при отсыпке обратного фильтра в основание дренажной призмы в текущую воду материал разносится; крупные фракции, передвигающиеся с большими скоростями, откладывающиеся в нижней части слоя, попадая во взвешенный слой песка, как бы тонут в нем. Верхние же слои набрасываемого обратного фильтра замыкаются песком, перемещающимся по дну реки. В результате необходимой структуры обратного фильтра не получалось.

Анализ гранулометрического состава 78 проб показал, что резкой переходной границы от одного слоя к другому и границы между банкетом и обратным фильтром не существовало. В обратном фильтре обнаружено наличие посторонних фракций мелкого песка и проникновение более крупных фракций верхнего слоя в нижний. Отдельные камни банкета пронизывали слой обратного фильтра на всю его толщину. Аналогичные явления, очевидно, имели место и при отсыпке наклонной части обратного фильтра.

Более правильным решением, обеспечивающим высокое качество дренажа и упрощающим производство работ, является отделение банкета от обратного фильтра с укладкой последнего насухо (рис. 219, *б*).

По этому типу устроен дренаж Цимлянской плотины и русловой плотины Куйбышевгидростроя.

§ 18. ВОЗВЕДЕНИЕ КАМЕННОНАБРОСНЫХ ПЛОТИН БЕЗ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

Каменнонабросные плотины весьма экономичны; наибольшая высота их 126 *м*, а в СССР—40 *м*. По данным М. М. Гришина, они обычно дороже земляных плотин, но дешевле бетонных гравитационных, а иногда могут соперничать с железобетонными плотинами.

При обычном способе возведения каменнонабросных плотин они сильно фильтруют (пустотность их 30—40°) и в качестве противофильтрационных мероприятий обычно устраивают экраны на слое сухой подэкрановой кладки (при жестких экранах), располагаемой на наброске. Минимальная толщина сухой кладки поверху 1,5—3 *м*, утолщение книзу обычно принимается 0,05 h, где h—высота от гребня до данного сечения.

Подэкрановая кладка, как видно из указанных цифр, имеет большую кубатуру; так как работы по сухой кладке из тщательно подобранных камней могут быть механизированы лишь частично, то приходится затрачивать большое количество рабочей силы на ручные работы.

Необходимость применения значительного количества ручного труда серьезно удорожает стоимость плотины. Поэтому каменнонабросные плотины с подэкрановой сухой кладкой не могут быть признаны рациональными в современных условиях. В результате большой пустотности осадка их достигает значительных величин—до 3,5—5,5%.

Однако каменнонабросные плотины имеют очень крупные достоинства. В горных районах, где нет других местных материалов, при каменнонабросном типе плотины можно либо совсем обойтись без привозных материалов, либо свести их к минимуму—только для устройства железобетонного экрана. Каменнонабросные плотины можно строить в зимнее время[2].

В 1956—1957 гг. была закончена и частично введена в эксплуатацию Орто-Токойская каменнонабросная плотина на р. Чу в Киргизской ССР. Эта плотина построена без экрана, коэффициент фильтрации тела плотины 0,002—0,0002 *см/сек* при уплотнении его до объемного веса 2,1—2,2 *т/м*^{3}; пористость колеблется в пределах 15—24%; плотина возводилась и в зимнее время, общая осадка составила 0,5—0,7% от высоты зимней отсыпки; стои-

---

[1] А. Я. Краснов. Исследование качества дренажа на русловом участке земляных плотин. Горький, 1957.

[2] М. М. Гришин. Гидротехнические сооружения, ч. I. Госстройиздат, 1954.

мость 1 $м^3$—14 руб. (без учета вспомогательных работ), производительность труда 23,3 $м^3$/*смену*.

Сравнение данных по обычным каменнонабросным плотинам с показателями, достигнутыми при строительстве Орто-Токойской плотины, приводит к выводу о больших преимуществах этого типа плотин. Благодаря новой технологии удалось создать безэкранный тип каменнонабросной плотины, значительно более дешевый и простой в производстве, чем плотины из каменной наброски, строившиеся до последнего времени.

В результате многочисленных лабораторных и полевых исследований были установлены следующие основные положения[1] при возведении плотин нового типа.

1. При возведении плотины обязателен отсев крупных фракций; допускаемый размер фракций устанавливается в зависимости от толщины отсыпаемого слоя (не более $^2/_3$ толщины слоя), методов дальнейшей обработки при укладке грунта в насыпь и веса уплотняющих машин.

2. Содержание мелкозема (мельче 2 *мм*) должно быть достаточным для заполнения пустот между крупными обломками, что обеспечивает требуемую пористость после уплотнения (15—24%), допустимую величину скорости фильтрации и отсутствие вымывания мелких фракций фильтрационным потоком. Такой гранулометрический состав можно считать оптимальным.

3. Крупнообломочные грунты позволяют вести строительство плотины в зимнее время при условии укладки их в сухом состоянии (естественная влажность 1—3%) с замочкой грунта, уложенного зимой, при наступлении устойчивых положительных температур сразу на всю толщину зимней укладки, высоту которой рекомендуется принимать равной 5—6 *м*.

4. Крупнообломочные грунты устойчивы против суффозии; передвижение мелких частиц по порам крупных фракций начинается при гидравлическом градиенте 2—3,2. При этом происходит сортировка зерен грунта и у выхода фильтрационного тока создается фильтр, ограничивающий вынос частиц грунта.

5. Крупнообломочные грунты вполне удовлетворяют требованиям, предъявляемым к возведению укатанных земляных плотин без специальных противофильтрационных устройств.

В соответствии с указанными положениями отсортировка крупных фракций производится либо в карьере, при помощи съемного грохота-решетки, либо в процессе погрузки на автосамосвал или на тракторный прицеп. Если крупный камень нужен на плотине, то для сбора его применяют бульдозер.

§ 19. УСАДКА И ОСАДКА НАСЫПЕЙ

Деформации тела плотины будем называть у с а д к о й, а деформации основания—о с а д к о й. Последняя должна учитываться особо: она зависит не от характера грунтов, из которых возводится плотина, и их уплотнения, а от характера грунтов основания и высоты плотины (рис. 220).

Усадка насыпи зависит в первую очередь от заданной степени уплотнения и фактически достигнутого уплотнения. При тщательном возведении плотины с соблюдением изложенных ранее правил должна получиться почти безусадочная насыпь.

А. А. Угинчус на основании десятимесячных наблюдений за плотиной из песчаных грунтов высотой 17 *м* указывает, что усадка основного тела плотины не превышала 0,07%; насыпь, выполненная менее качественно, дала усадку, равную 0,35%.

Другая плотина, высотой 25,6 *м*, насыпанная за один год из глины, гравия и песка, укладывалась слоями по 0,20 *м* и укатывалась кулачковыми

---

[1] М. И. И б р а г и м о в. Инструкция по возведению укатанных плотин из крупнообломочных грунтов. Фрунзе, 1957.

катками с уплотнением по сравнению с карьерами, равным 16%. Последующие замеры (через 2 года) показали практически нулевую усадку и отсутствие фильтрации через тело плотины.

Приведенные примеры подтверждают, что при тщательном уплотнении возведение практически безусадочных насыпей вполне возможно.

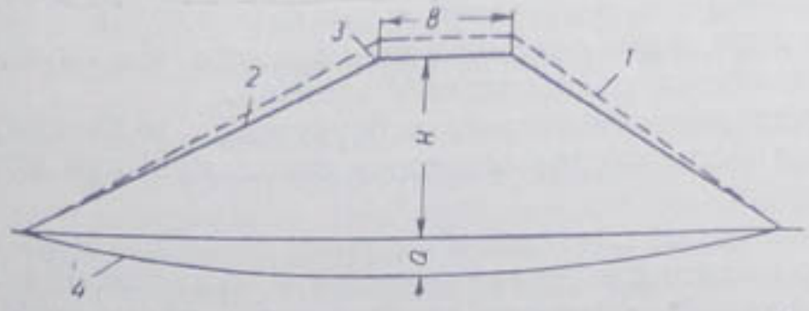


Рис. 220. Проектный и строительный поперечные профили земляной плотины:

1 и *2*—строительный и проектный профили плотины; *3*—усадка плотины по высоте; *4*—основание плотины после ее осадки.

Согласно справочному пособию ВНИОМа «Производство земляных работ» (1952 г.) при возведении насыпей с механическим уплотнением грунта принимаются следующие запасы на усадку в процентах от высоты насыпи:

Песчаные грунты	1,5
Суглинистые грунты при высоте насыпи до 15 *м*	3,5
Суглинистые грунты при высоте насыпи более 15 *м*	3,0

Указанные нормы усадок насыпей следует считать преувеличенными; для земляных плотин и дамб, возведенных с тщательным уплотнением, фактические усадки меньше. Этот вопрос имеет весьма актуальное значение, так как объем земляных работ возрастает с величиной усадок.

Глава XIII

ОЧИСТКА ПОСТОЯННЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ И ОСУШИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

§ 1. ЗНАЧЕНИЕ ОЧИСТКИ

Улучшение технической эксплуатации оросительных и осушительных систем, обеспечение своевременного ремонта и очистки сбросной и коллекторной сети, повышение уровня механизации работ по ремонту и очистке постоянных каналов осушительных и оросительных систем составляют важнейший комплекс работ. Особое значение механизации очистки оросительных систем вполне понятно, так как ежегодный объем работ по очистке каналов оросительных систем СССР составляет значительную величину.

В СССР еще в 1955 г. очистные работы по межхозяйственной сети были механизированы более чем на 70% преимущественно в результате применения гидромеханизации. До сих пор, однако, внутриколхозная оросительная сеть в основном очищается вручную, на что затрачивается большое количество труда колхозников. Уровень механизации очистки оросительных и осушительных каналов постоянной внутрихозяйственной сети в ближайшие годы должен быть доведен до 90—100%.

В системе орошения с временными оросителями, периодически заравниваемыми, либо совсем отпадает необходимость очистки оросителей, либо объем работ по очистке значительно уменьшается. В связи с этим уменьшаются и объемы очистных работ внутрихозяйственной сети, выполняемых самими колхозниками. В этом одно из достоинств временных оросителей.

Очистка оросительных каналов необходима потому, что в них поступает большое количество наносов, превышающее транспортирующую способность каналов.

Местные заиления каналов происходят также на участках подпоров и малых скоростей вследствие местных размывов, оползания откосов и т. п. Зарастание каналов растительностью, увеличивающее шероховатость и уменьшающее скорость течения, нередко также является причиной заиления каналов. Поэтому одновременно с очисткой каналов приходится вести борьбу с их зарастанием. Иногда заиление каналов происходит из-за вытекания в русло плывунов.

Причиной местных повреждений русла каналов и заиления является также отсутствие специальных водопоев и недостаток мостов для переезда через каналы.

Систематическую очистку каналов нужно производить и на осушительной сети. Причиной заиления осушительных каналов является подъем русла их после осушки, оползание разжиженных масс торфа, обвалы откосов, зарастание русел.

§ 2. СПОСОБЫ ОЧИСТКИ

Каналы очищают от растительности плавучими сенокосилками или косой; растения с хрупкими стеблями можно удалять протаскиванием по откосам тяжелой железной цепи, троса или волокуши из рельсов.

Для борьбы с зарастанием откосов и дамб применяют посадки вдоль каналов деревьев и кустарников, затеняющих зеркало вод, сжигание растений огнеметами, стравливание их скоту и обработку химикалиями-гербицидами.

Механизированную очистку каналов от наносов при наличии в них воды можно производить плавучими или сухопутными землесосными установками, драглайнами, многочерпаковыми экскаваторами с поперечным черпанием.

При отсутствии воды в канале для механизированной очистки можно применять не только экскаваторы, но и канавокопатели, скреперы, грейдеры и планировщики откосов.

Экскаваторная очистка каналов от наносов выполняется драглайнами с ковшами небольшой емкости 0,25—0,50 $м^3$, а также многоковшовыми экскаваторами ЭМ-502 и ЭМ-161. Экскаваторная очистка может быть применена только при отсутствии древесной растительности вдоль канала, мешающей проходу экскаваторов; она ограничена сроками опоражнивания каналов, безморозным временем года и несущей способностью грунтов, по которым передвигается экскаватор. Существенное влияние на успешность работы экскаваторов оказывает удельный объем работ; так, например, для одноковшового экскаватора с емкостью ковша 0,5 $м$ удельный объем должен быть не меньше 2—3 $м^3$ на 1 пог. $м$; при меньшем объеме производительность экскаватора значительно снижается.

Подводная очистка драглайнами возможна, но обходится дорого.

Канавокопатели и грейдеры применимы только для очистки небольших каналов. Скреперы можно применять лишь для очистки каналов, достаточно широких для размещения в них машины.

В ряде случаев препятствием для прохождения сухопутных очистных машин являются также раши—отвалы грунта, получающиеся в результате очистки каналов.

Рациональным типом машин по очистке каналов от наносов являются плавучие землесосные установки с подводной разработкой грунта. Они обладают высокой производительностью и могут работать в течение всего периода действия каналов. Транспортировку грунта от землесосов можно вести на большое расстояние от очищаемого канала.

К достоинствам гидромеханизированной очистки относятся также меньший вес, простота конструкции и меньшая стоимость землесосов по сравнению с другими машинами, применяемыми для очистки каналов.

Минимальная ширина понтонов около 2,2—4 *м*, а осадка их 0,25—0,6 *м*; поэтому плавучие землесосные установки можно применять только для очистки крупных и средних каналов: магистральных, распределительных, коллекторов, а также отстойников. Но и на крупных каналах крутые и частые радиусы поворотов иногда являются препятствием для перемещения плавучих установок.

Целесообразно устраивать в голове оросительной системы отстойники, в которых будут откладываться наносы. Это позволяет сосредоточить основные очистные работы только в отстойнике и на небольшой длине головного канала. Очистку внутри системы приходится выполнять в этом случае в значительно меньшем объеме. Комбинация землесосной очистки с отстойниками нашла применение на оросительных системах в Туркменской ССР. Устройство отстойников, как мероприятие по рационализации оросительных систем, следует предусматривать не только при строительстве новых систем, но и реконструкции старых.

В практике эксплуатации оросительных систем используют большой парк разнообразных землесосных установок. К ним относятся землесосные установки «Ирригатор» № 1 и № 2 производительностью в среднезернистых песках 200 и 80 $м^3/час$, с паровыми двигателями, с осадкой понтона в 1,2 *м*, шириной понтона соответственно 8 и 7,5 *м* и длиной 30 и 22 *м*.

Эти установки применимы для очистки глубоких и широких каналов. Они с успехом работают, например, на очистке отстойников Таш-Сакинского канала. Кроме того, применяются также землесосные установки ТМИР (ныне снятые с производства) и Потийского завода с двигателем Д-6 и землесосом 8НЗ, 8ПЗУ ВНИИГиМ, 4ПЗУ ВНИИГиМ, Сормовский специальный производительностью по воде 2400 $м^3$ и ПКГ-300.

Большой объем очистных работ на оросительных системах падает на удаление рашей. Эту работу можно выполнять перечисленными выше сухопутными землеройными снарядами, но более производительно и экономично применять сухопутную гидромониторную установку.

Осушительные каналы можно очищать тем же способом, что и оросительные, однако при этом возникает ряд дополнительных условий. Главные из них сводятся к проходимости машин по болотам и пнистости болот (выпиранию пней и стволов погребенного леса выше дна каналов). Для увеличения проходимости можно применять уширенные гусеницы землеройных и транспортных машин или укладывать переносную щитовую дорогу по пути их хода, что, однако, сильно удорожает работу.

Рациональными сухопутными снарядами для очистки осушительных каналов являются одноковшовые экскаваторы Э-352 с ковшом емкостью 0,35 $м^3$ и ТЭ-2М с ковшом емкостью 0,4 $м^3$. Их достоинство состоит в весьма низком давлении на грунт—0,15—0,19 $кг/см^2$. Наличие пней снижает и затрудняет работу этих машин.

Очистку больших осушительных каналов, например магистральных, а также водоприемников можно выполнять плавучими землесосными установками и плавучими экскаваторами.

Глава XIV

КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ[1]

§ 1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Индустриализация гидромелиоративного строительства и широкое внедрение комплексной механизации при выполнении всех основных и вспомогательных работ являются решающими условиями, обеспечивающими сокра-

[1] Глава XIV написана инж. М. И. Ярушиным.

щение сроков строительства, улучшение качества работ, повышение производительности труда и снижение стоимости строительных и монтажных работ.

В мелиоративном строительстве земляные работы, в первую очередь при строительстве каналов, занимают ведущее место. В 1958 г. только по строительству, не считая очистки отстойников и каналов, было выполнено 560 млн. $м^3$ земляных работ, в том числе механизмами свыше 550 млн. $м^3$. Поэтому скорейшее завершение комплексной механизации этого вида строительных работ имеет первостепенное значение.

Для обеспечения комплексной механизации при рытье котлованов, каналов, траншей для дренажа, планировке орошаемых земель и других видов земляных работ должны применяться машины, взаимно увязанные по производительности, параметрам и расстановке и выполняющие все операции в последовательном порядке непрерывным потоком.

При подборе каждой машины для комплекса необходимо учитывать объемы строящегося сооружения, строительную характеристику грунтов, дальность перемещения земляных масс, а также другие конкретные условия производства земляных работ.

В общую технологическую схему, объединяющую комплекты машин, должны включаться не только основные процессы выполнения земляных работ, обязательные для любых условий,—копание грунта, его транспортировка и выгрузка, но и вспомогательные процессы, выполняемые в зависимости от определенных условий,—рыхление грунта, подготовка основания сооружения, увлажнение, разравнивание, уплотнение грунта, планировка поверхностей и откосов, содержание в исправности землевозных путей, пульповодов, их передвижка и перекладка, водопонижение и т. п.

В зависимости от календарного плана и условий производства машины для вспомогательных работ могут включаться в основной комплект или использоваться отдельно. В первом случае при расчете комплекта машин необходимо соблюдать полное соответствие между мощностью и производительностью ведущей машины и машин, обслуживающих смежные операции. При этом обязательно должна быть обеспечена максимальная производительность ведущей машины. В случае, когда машины для вспомогательных работ используются отдельно, необходимо их производительность подбирать с таким расчетом, чтобы, работая в головных звеньях, они обеспечивали постоянное опережение в целях бесперебойной работы следующей за ними ведущей машины или комплекта машин.

Строительство каналов и других земляных сооружений может выполняться одним или несколькими комплектами машин, как однородными, так и разнородными по своему составу, причем эти комплекты могут работать параллельно, т. е. независимо друг от друга, или последовательно, с равными скоростями выполнения работ.

Количество машин в комплекте должно быть минимальным, так как при этом создаются лучшие условия для применения непрерывного поточного метода. Там, где это возможно, следует применять машины, выполняющие несколько операций, например скреперы, бульдозеры и др.

§ 2. КОМПЛЕКТЫ МАШИН ДЛЯ ПОСТРОЙКИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

При строительстве мелиоративных систем приходится отрывать как очень крупные по своим расходам и поперечным размерам магистральные каналы и ветви (например, Терско-Кумский канал длиной 152 *км* и расходом 100 $м^3/сек$, с объемом земляных работ 33 млн. $м^3$, или 1-я очередь Южного Голодностепского канала протяжением 92 *км*, с расходом 300 $м^3/сек$ и объемом земляных работ 20 млн. $м^3$), так и распределительные каналы разных порядков и, наконец, временные оросители, с пропускной способностью 20—80 $л/сек$. Помимо огромного диапазона по расходам, а следовательно, по размерам, каналы отличаются конструкцией своих поперечных сечений: они проходят в выемках, полувыемках-полунасыпях и в насыпях. Каналы, а иногда один

и тот же канал, прорезают различные по своей крепости грунты и имеют, в зависимости от качества грунтов, различное заложение откосов. Дно строящихся каналов может располагаться выше и ниже уровня стояния грунтовых вод; в последнем случае увеличивается сложность организации работ и сокращается выбор землеройных машин. Все каналы, транспортирующие и распределяющие воду между орошаемыми хозяйствами, имеют различное поперечное сечение, уменьшающееся по направлению от источника орошения до поливного поля, а каналы водосборно-сбросные и открытые дренажные — сечение, увеличивающееся по направлению от осушаемого поля до водоприемника. Таким образом, в зависимости от протяженности и сечения для выполнения тех или иных каналов может потребоваться не один, а два и более комплекта машин с различными ведущими и вспомогательными механизмами.

При всем разнообразии условий строительства каналов мелиоративных систем необходимо подобрать ограниченное число комплектов с наименьшим количеством машин в каждом из них и с возможно максимальной производительностью каждой машины в комплекте.

Гипроводхоз Министерства сельского хозяйства СССР разработал и издал типовые схемы[1] производства земляных работ по строительству каналов оросительных систем с расходом от 0,05 до 10 *м*³/*сек*, в которых указаны технология выполнения земляных работ по строительству каналов разных порядков, рациональные комплекты машин, затраты ресурсов на выполнение 1000 *м*³ земляных работ, а также стоимость 1 *м*³ земляных работ. Схемы разработаны на основе стандартных поперечных сечений каналов оросительных систем и учитывают устройство каналов в выемках, полувыемках-полунасыпях и насыпях, в грунтах I и II групп шириной по дну от 0,4 до 7 *м*, с заложением откосов 1 : 1; 1 : 1,25 и 1 : 1,5 и различной глубиной наполнения водой. В результате подробной проработки зависимости параметров различных землеройных машин от параметров каналов последние могут быть сгруппированы в 6 диапазонов, в зависимости от ширины каналов по дну (табл. 38).

Таблица 38

Ширина канала по дну в *м*	Расход канала в *м*³/*сек*	Количество типовых схем
0,4—0,8	0,05—0,5	1
0,6—0,8	0,05—0,5	10
0,4—1,0	0,35—1,0	9
0,8—1,2	До 1,0	8
1,5—3,0	1,1— 7,0	6
3,5—7,0	5,0—10,0	8

Для каждого диапазона разработано несколько типовых схем в зависимости от поперечного сечения канала и назначения ведущей машины в комплекте; выбор наиболее рациональной схемы для конкретных условий работ облегчается имеющимися в схемах данными затрат ресурсов и стоимости работ по каждой схеме.

Строительство оросительных каналов на расходы до 1 *м*³/*сек* выполняются следующими комплектами машин (табл. 39).

Каналы на расходы до 1 *м*³/*сек* в насыпях и полунасыпях, шириной по дну до 1—1,2 *м*, строят методом подушки, в которой вырезается проектное сечение. Отсыпка подушки производится до отметки наивысшего расчетного горизонта воды в канале; объем вырезки должен быть равен объему двух дамбочек канала с запасом 10% на осадку. Если объема вырезаемого грунта

[1] Министерство сельского хозяйства СССР, Гипроводхоз. Типовые схемы производства земляных работ по строительству каналов. Выпуск 1 (уточненный). Каналы оросительных систем на расходы до 10 *м*³/*сек* и дамбы обвалования высотой до 4,5 *м*. Москва, 1959.

Таблица 39

Процессы работ	Ведущая машина	Вспомогательная машина
Подготовка трассы	Скрепер (бульдозер, грейдер-элеватор)	Бульдозер (грейдер), рыхлитель (плуг), катки прицепные, автоцистерна (поливочная машина)
Вырезка сечения канала	Канавокопатель (грейдер, экскаватор)	—

недостаточно, то гребень подушки повышается до получения положительного баланса земляных работ. На рисунке 221 представлен график для определения глубины вырезки канала в подушке по проектной глубине канала.

Подушка может быть отсыпана скрепером с заложением откосов 1 : 1,5, или бульдозером с заложением откосов 1 : 2,5, или грейдер-элеватором с откосами 1 : 1 ÷ 1 : 3 и высотой до 1,3 *м*.

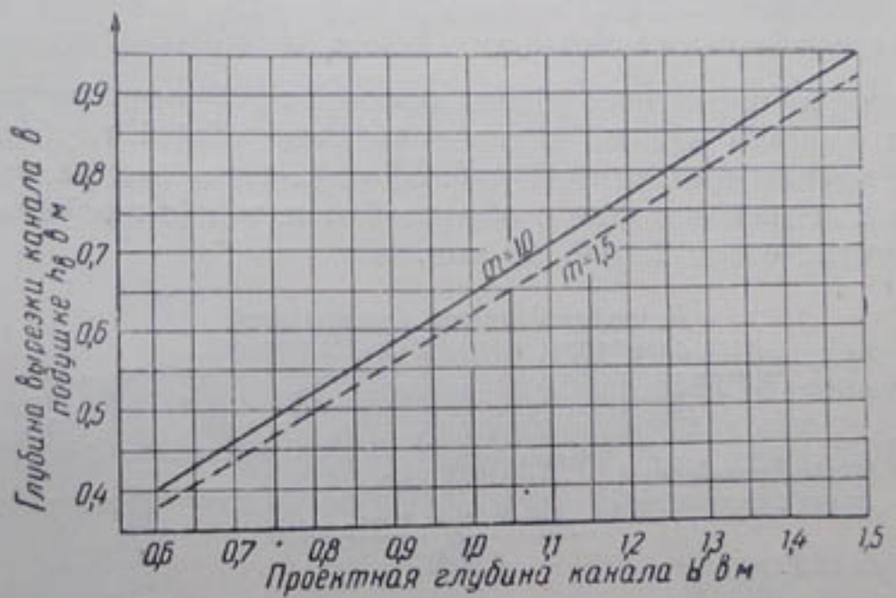


Рис. 221. График для определения глубины вырезки канала в подушке $h_в$ по проектной глубине канала H.

Машина для вырезки сечения канала в подушке назначается в зависимости от заложения откосов и глубины каналов. При откосах 1 : 1 ÷ 1 : 1,25 и глубине до 0,65 *м* работы выполняются канавокопателями Д-267А, при откосах 1 : 1,5 и глубине до 0,8 *м* —тяжелым грейдером и при большей глубине—одноковшовым экскаватором с профильным ковшом емкостью 0,35 $м^3$.

Ширина подушки поверху назначается также в зависимости от заложения откосов канала и типа машины по вырезке канала: для канавокопателя Д-267А—от 3,6 до 6 *м* и для грейдера—от 7 до 8 *м*.

Чтобы получить правильное сечение канала с гладкими откосами, необходимо перед проходом канавокопателя произвести рыхление грунта подушки на глубину 35—40 *см* на такой ширине, чтобы гусеницы трактора при вырезке сечения канала проходили по плотному, неразрыхленному грунту.

Строительство каналов в выемке и полувыемке, при ширине по дну до 1 *м*, при вырезке сечения канала канавокопателем или грейдером производится с предварительным выравниванием трассы под проектный уклон или путем разработки корыта (обратной подушки).

Предварительная разработка обратной подушки позволяет использовать канавокопатели и грейдеры при необходимости нарезки каналов глубиной более 0,8 *м* (рис. 222). Однако при этом методе разработки каналов объем выемки за счет устройства обратной подушки значительно возрастает (табл. 40).

Таблица 40

Ширина e канала по дну в $м$	0,6		0,8	
Заложение m внутренних откосов канала	1,0		1,25	
Глубина вырезки канала $h_в$ канавокопателем Д-267А в $м$	0,65		0,65	
Глубина корыта $h_{кор}$ в $м$	1	2	1	2
Общая глубина выемки H в $м$	1,65	2,65	1,65	2,65
Проектный объем выемки на 1 пог. $м$ $V=(e+mH)H$	3,72	8,61	4,40	10,36
Объем вырезки канала на 1 пог. $м$ $V_1=(e+mh_в)h_в$	0,81	0,81	0,91	0,91
Ширина B корыта по дну в $м$	4,8	4,8	5,5	5,5
Объем корыта на 1 пог. $м$ $V_2=(B+mh_{кор})h_{кор}$ при $m=1,5$	6,3	15,6	7,0	17,0
Процент увеличения объема работ против проектного $\frac{V_1+V_2-V}{V}100$ . . .	91	91	79	73

Стоимость 1 $м^3$ проектного объема земляных работ при разработке корыта скрепером и вырезке канала канавокопателем общей глубиной до 2, 65 $м$ в грунтах II группы составляет 1 руб. 55 коп., тогда как разработка канала глубиной до 2 $м$ экскаватором с обратной лопатой (с профильным ковшом) в тех же грунтах стоит 2 руб. 40 коп.

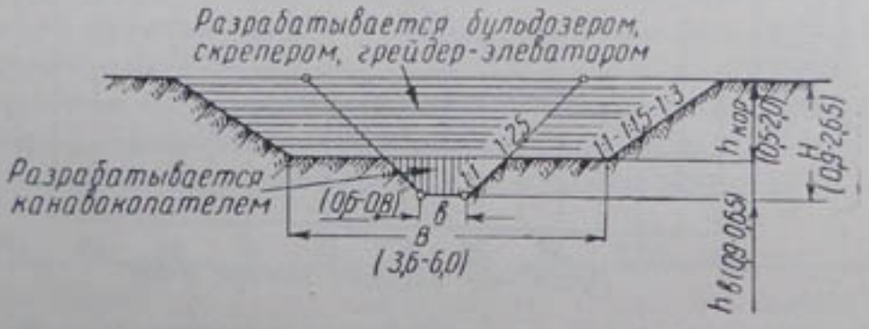


Рис. 222. Канал в выемке с вырезкой его канавокопателем Д-267А в корыте (обратной подушке).

Аналогичные результаты получены при разработке корыта бульдозером и грейдер-элеватором, с вырезкой сечения канавокопателем или грейдером.

Следовательно, в некоторых случаях представляется целесообразным разрабатывать каналы глубиной более 0,65, и 0,8 $м$ методом обратной подушки, с вырезкой сечения канала канавокопателем или грейдером.

На рисунке 223 в качестве примера приведена типовая схема производства работ по строительству каналов оросительной сети в полунасыпи шириной по дну 0,6—0,8 $м$ на расходы 0,05—0,5 $м^3/сек$ при наполнении водой до 0,65 $м$ с отсыпкой подушек скрепером.

Строительство каналов на расходы от 1,1 до 10 $м^3/сек$ выполняется следующими комплектами машин (табл. 41).

Таблица 41

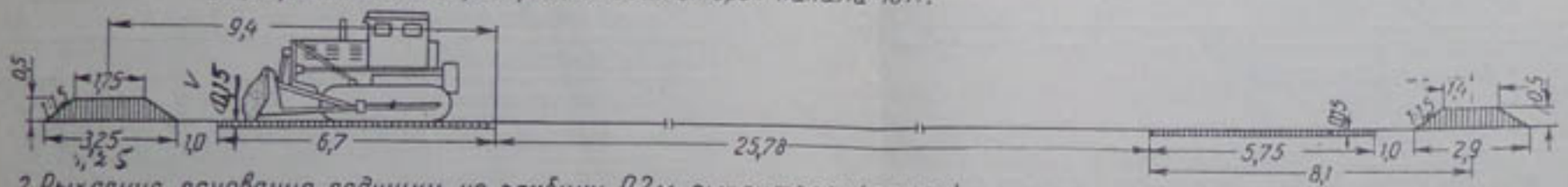
Ведущие машины	Вспомогательные машины
Скрепер (бульдозер)	Бульдозер, грейдер, рыхлитель (плуг), катки прицепные, автоцистерна (поливная машина)
Экскаватор с ковшом емкостью 0,3—0,5—1,0 $м^3$	

Поперечное сечение канала в полунасыпи

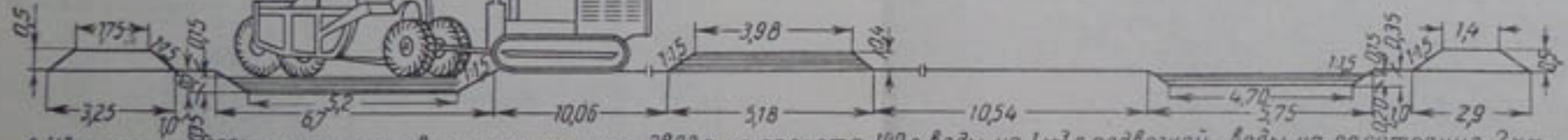
Проектный объем на 1 пог. м - 1,86 м³.

Схема производства работ

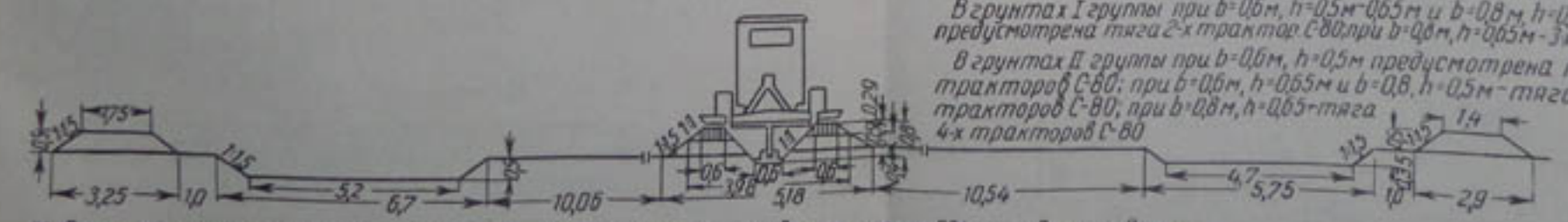
1. Срезка растительного грунта с поверхности резервов с перемещением грунта во временные кавальеры бульдозером на расстояние: а) при расположении резерва с одной стороны канала - 10 м;
б) при расположении резервов с обеих сторон канала - 10 м.



2. Рыхление основания подушки на глубину 0,2 м рыхлителем (плугом).
3. Укатка основания подушки катками Д-130Б.
4. Рыхление тяжелых грунтов в резерве рыхлителем (плугом).
5. Разработка грунта скрепером и отсыпка его в насыпь подушки с перемещением на расстояние:
а) при расположении резерва с одной стороны канала - 70 м; при расположении резервов с обеих сторон канала - 70 м.



6. Увлажнение 50% грунта из автоцистерны емк. 3800 л из расчета 100 л воды на 1 м³ с подвозкой воды на расстояние 2 км.
7. Разравнивание отсыпанного в подушку грунта слоями по 0,2 м бульдозером.
8. Послойная укатка грунта в подушке катками Д-130Б.
9. Предварительное выравнивание верха подушки грейдером (возможно бульдозером).
10. Нарезка по оси канала рыхлителем Д-162 борозды с разрыхлением грунта на глубину 0,35–0,40 м
11. Вырезка в подушке сечения канала канавокопателем Д-267А с 2-4 тракторами С-80.
Объем работ на 1 пог. м = 0,57 - 0,03 = 0,54 м³.



12. Ручные оправки и доделки канала после работы канавокопателя - 5% от объема вырезки.
13. Перемещение растительного грунта из временных кавальеров в выработанные резервы на расстояние 10 м и засыпка остальной части резервов грунтом, разработанным и перемещенным на расстояние 40 м бульдозером с разравниванием.

Примечание

В грунтах I группы при b = 0,6 м, h = 0,5 м - 0,65 м и b = 0,8 м, h = 0,5 м предусмотрена тяга 2-х тракторов С-80, при b = 0,8 м, h = 0,65 м - 3-х тракторов С-80.

В грунтах II группы при b = 0,6 м, h = 0,5 м предусмотрена тяга 2-х тракторов С-80; при b = 0,6 м, h = 0,65 м и b = 0,8, h = 0,5 м - тяга 3-х тракторов С-80; при b = 0,8 м, h = 0,65 - тяга 4-х тракторов С-80.

Объемы работ на 1 пог. м канала

		I (m = 1,25)	II (m = 1,0)
1	Группа грунта	0,6-0,8	
2	Ширина кан по дну (м)	до 1,00	
3	Глубина канала (м)	до 0,65	
4	Глуб вырезки кан (м)	1,33-3,52	1,22-3,24
5	Объем насыпи подуш (м³)	0,49-1,00	0,46-0,89
6	Объем вырезки канавок (м³)	1,25-3,23	1,11-2,99
7	Проектный объем (м³)		

Технико-экономические показатели

Группа грунта	I (m = 1,25)		II (m = 1,0)	
Ширина по дну (м)	0,6-0,8			
Глубина канала (м)	до 1,0			
Высота подушки (м)	до 0,5			
Разработка грунта	Одно стор	Двух стор	Одно стор	Двух стор
Затраты ресурсов маш-смен и чел-дней на 1000 м³				
Тракторов С-80	4,53 / 0,25	4,53 / 0,25	5,31 / 0,50	5,31 / 0,50
Тракторов ДТ-54	–	–	–	–
Скреперов	10,94	10,94	11,98	11,98
Бульдозеров	1,87	1,87	2,29	2,29
Грейдеров	3,10	3,10	3,39	3,39
Канавокопат Д-267А	4,14	4,82	4,06	4,21
Рыхлителей Д-162	11,32	13,28	11,08	13,02
Плугов трехкорпусн.	0,11	0,11	0,12	0,12
Катков Д-130Б	0,32	0,32	0,34	0,34
Автоцист. емк 3800 л	0,09	0,09	0,16	0,16
Операторов	0,16	0,16	0,38	0,38
Рабочих	0,05	0,05	0,03	0,03
Стоимость-руб.	–	–	–	–
1 м³ проектного объема	0,12	0,12	0,83	0,83
	4,15	4,15	4,14	4,14
	6,79	6,79	6,89	6,89
	0,87	0,87	0,84	0,84
	0,87	0,87	0,84	0,84
	0,87	0,87	0,84	0,84
	0,95	0,95	1,49	1,49
	2,83	2,83	3,74	3,74
	2,83	2,83	3,74	3,74
	2-30 / 3-76	2-46 / 4-10	2-47 / 3-95	2-64 / 4-28

Примечания:

1. В числителе приведены показатели для комплекта машин с трактором С-80, а в знаменателе с трактором ДТ-54 (канавокопатели, рыхлители - с трактором С-80)
2. В том случае, если не предусматривается засыпка резервов специально разработанным и перемещенным грунтом, то принимать вместо приведенных выше следующие показатели:

Бульдозеров	1,10	1,79	1,02	1,76
Стоимость-руб.	3,04	5,00	3,00	4,94
1 м³ проектного объема	1,71	1,89	1,92	2,11
	2,86	3,03	2,90	3,…

Рис. 223. Типовая схема производства работ по строительству каналов оросительной сети в полунасыпи шириной по дну 0,6—0,8 м на расходы 0,05—0,5 м³/сек при наполнении водой до 0,65 м с отсыпкой подушек скрепером.

Поперечное сечение канала в полунасыпи

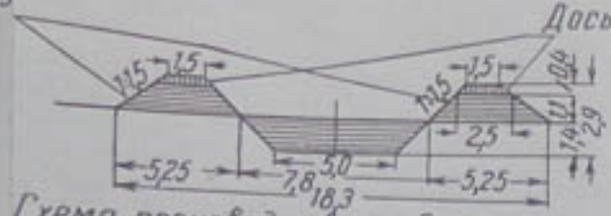
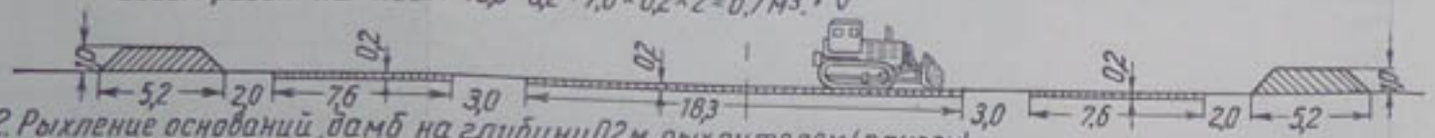


Схема производства работ

1. Срезка растительного слоя на глубину 0,2 м с оснований дамб, поверхности канала и резервов бульдозером с перемещением во временные кавальеры на расстояние до 35 и до 15 м.

Объем работ на 1 пог.м = 18,3×0,2 + 7,6×0,2×2 = 6,7 м³.



2. Рыхление оснований дамб на глубину 0,2 м рыхлителем (плугом).
3. Укатка оснований дамб катками Д-130Б.
4. Рыхление тяжелых грунтов в канале и резервах рыхлителем (плугом) при скреперной разработке.
5. Разработка грунта в канале скрепером с оставлением съездов и выездов из канала через 50 м, с перемещением грунта в дамбы на расстояние до 70 м, с разравниванием грунта в дамбах слоями по 20 см бульдозером, с увлажнением 50% грунта из автоцистерны емк. 3800 л из расчета 100 л воды на 1 м³ грунта с подвозкой воды на среднее расстояние 2 км, с укаткой грунта слоями по 20 см катками Д-130Б.

Объем на 1 пог.м $\frac{5,0+7,8}{2}$ 1,4 − 7,8×0,2 = 7,4 м³.

6. Разработка грунта в резервах скрепером с перемещением в дамбы до отметки форсированного горизонта на расстояние до 70 м с оставлением выездов из резервов через 50 м, с разравниванием грунта в дамбах слоями по 0,2 м бульдозером, с увлажнением 50% грунта из автоцистерны емк. 3800 л из расчета 100 л воды на 1 м³ грунта с подвозкой воды на среднее расстояние 2 км, с укаткой грунта слоями по 20 см катками Д-130Б.

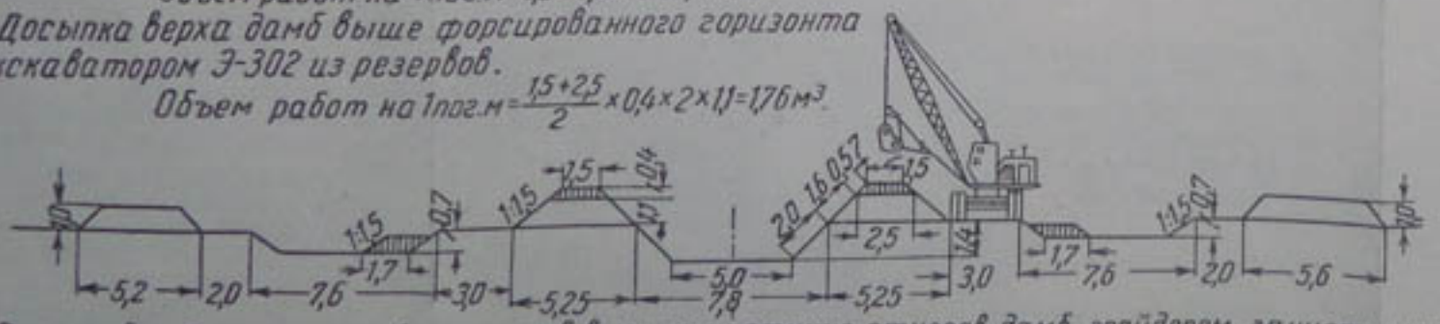
Объем работ на 1 пог.м = $\frac{2,5+4,0}{2}$ × 0,6×2×1,1 = 4,3 м³.

7. Срезка неуплотненных окраек („бахромы") с внутренних откосов канала грейдером (экскаватором) с перемещением грунта в насыпь.

Объем работ на 1 пог.м = 1,6×0,15×2 = 0,48 м³.

8. Досыпка верха дамб выше форсированного горизонта экскаватором Э-302 из резервов.

Объем работ на 1 пог.м = $\frac{1,5+2,5}{2}$ × 0,4×2×1,1 = 1,76 м³.



9. Планировка дна и откосов канала в выемке, частично откосов дамб грейдером, зачистка и оправка верха и частично откосов дамб вручную.

Объем работ на 1 пог.м: а) в выемке − 2,0+5,0+2,0 = 9,0 м²; б) в насыпи грейдером − 1,6×2 = 3,2 м²; вручную − (1,5+0,57)×2 = 4,1 м².

10. Обратная засыпка растительного грунта в выработанные резервы бульдозером с перемещением на расстояние до 10 м и с разравниванием.

Объемы работ на 1 пог.м канала

№ п/п	Наименование работ	Ед. изм.	Группа грунта I (m=1,5-1,25)	Группа грунта II (m=1,0)
1	Проектный объем	м³	11,3	10,1
2	Срезка растит. слоя с основан. дамб	"	2,4	2,1
3	Объем выемки из канала	"	9,9	9,0
4	Срезка раст. слоя с поверхн. канала	"	1,8	1,6
5	Объем резервов	"	5,6	6,0

Технико-экономические показатели

Группа грунта	I (m=1,5-1,25)		II (m=1,0)	
Ширина канала по дну (м)	3,5-7,0			
Глубина канала (м)	до 3,0			
Проект. объем насыпи на 1 пог.м (м³)	11,3		10,1	
Срезка неуплотн. окраек „бахромы"	Грейдером	Экскаватор.	Грейдером	Экскаватор
Затраты м-см. и чел-дн. на 1000 м³				
Экскават. емк. ковша 0,3 м³	0,97 / 0,97	1,58 / 1,58	1,34 / 1,34	2,04 / 2,04
Тракторов	4,15 / 10,72	4,05 / 10,17	5,21 / 12,67	5,13 / 12,53
Скреперов	2,01 / 3,74	2,01 / 3,74	2,61 / 4,53	2,61 / 4,53
Бульдозеров	1,63 / 4,73	1,63 / 4,73	1,69 / 4,89	1,69 / 4,89
Грейдеров	0,15 / 0,24	0,05 / 0,08	0,17 / 0,26	0,08 / 0,12
Рыхлителей (плугов)	0,04 / 0,05	0,04 / 0,05	0,26 / 0,68	0,26 / 0,68
Катков	3,89 / 6,47	3,89 / 6,47	4,35 / 7,29	4,35 / 7,29
Автоцистерн	2,07 / 2,07	2,07 / 2,07	2,43 / 2,43	2,43 / 2,43
Операторов	2,07 / 2,10	2,07 / 2,10	2,42 / 2,83	2,42 / 2,83
Рабочих	1,56 / 1,56	1,56 / 1,56	2,64 / 2,64	2,64 / 2,64
Стоимость-руб. 1 м³ проектного объема	1,99 / 3,03	2,14 / 3,10	2,42 / 3,47	2,59 / 3,64

Примечание.
В числителе приведены показатели для комплекта машин с трактором С-80, а в знаменателе - с трактором ДТ-54

Рис. 224. Типовая схема производства работ по строительству каналов оросительной сети в полунасыпи шириной по дну 3,5—7 м, на расходы 5—10 м³/сек с раздельной отсыпкой дамб скреперами и досыпкой верха дамб экскаваторами.

Каналы в выемке и полувыемке разрабатываются двумя ведущими машинами: верхние слои грунта на глубину 1—1,5 *м*—скреперами, а нижняя часть—экскаватором-драглайном; при этом остающаяся часть грунта для разработки экскаватором должна составлять не менее семи емкостей ковша экскаватора в целях обеспечения его максимальной производительности. Для каналов шириной по дну 1,5—3 *м* применяются экскаваторы типа Э-652 с ковшом емкостью 0,5 $м^3$, а для каналов шириной по дну 3,5—7 *м*—экскаваторы Э-1252 с ковшом емкостью 1 $м^3$.

Каналы разрабатываются с перебором по глубине в размере 1,5—5% проектного сечения с тем, чтобы этот перебор был заполнен грунтом, срезаемым с откосов при планировке. Уборка грунта, срезаемого с откосов канала, за пределы поперечного сечения, несомненно, более трудоемкая работа, чем работа с перебором и его последующим заполнением.

Возведение каналов в насыпи и полунасыпи производится с раздельной отсыпкой дамб до отметки форсированного горизонта, с послойным разравниванием и уплотнением грунта при его оптимальной влажности. Дамбы выше горизонта воды могут насыпаться малогабаритными одноковшовыми экскаваторами или будьдозерами; в последнем случае внешние откосы дамб выполняются с уположением до 1 : 2,5. Срезка с внутренних откосов неуплотненных окраек (бахромы) выполняется тяжелым грейдером.

На рисунке 224 представлена одна из типовых схем—устройство каналов оросительной сети в полунасыпи шириной по дну 3,5—7 *м* на расходы 5—10 $м^3/сек$ с раздельной отсыпкой дамб скреперами и досыпкой верха дамб экскаваторами. В выпуске 1 типовых схем производства работ по строительству каналов представлены также открытые дренажные каналы шириной по дну 0,4—0,8; 0,8—1 и 1,2—1,5 *м*, глубиной до 3 и 5 *м*, при различном расположении уровня грунтовых вод, а также дамбы обвалования шириной 3 и 6,5 *м*, высотой до 1; 1,5; 3 и 4,5 *м*.

Кроме того, Гипроводхозом разработаны и изданы типовые схемы производства земляных работ по строительству магистральных каналов оросительных систем[1] и каналов водосборно-сбросной и дренажной сети[2].

Наличие типовых схем значительно облегчает проектирование производства работ по строительству каналов оросительных систем и дамб обвалования, позволяет без дополнительных подсчетов сделать сравнительную оценку различных способов производства работ и определить потребное количество ресурсов.

Во всех случаях, когда это допускают габариты сооружений, следует включать в комплекты прицепные или навесные машины к мощным тракторам (С-80 или С-140). Применение маломощных тракторов (ДТ-54 и др.) резко увеличивает стоимость работ, что можно характеризовать данными таблицы 42.

При комплектовании машин необходимо придерживаться принципа их взаимозаменяемости, стремясь к сокращению числа машин в комплекте. Так, например, при тяжелых и пересохших грунтах следует оборудовать бульдозеры и скреперы рыхлительными приспособлениями, что позволит исключить из комплекта рыхлители (плуги); при устройстве каналов методом подушки целесообразно использовать автогрейдер, который имеет сменное оборудование грейдер-элеватора, бульдозера и откосника; при вырезке каналов канавокопателем Д-267А, в целях сокращения объема ручных доделок и повышения качества работ, к канавокопателю присоединяют специальный деревянный каток диаметром 60—70 *см*, длиной 5 *м*, который уплотняет и оформляет дамбы канала.

---

[1] Гипроводхоз. Типовые схемы производства земляных работ по строительству каналов. Выпуск 2: Магистральные каналы оросительных систем на расходы до 50 $м^3/сек$ (шириной по дну 7—15 *м*). 1957.

[2] То же, выпуск 3: Каналы водосборно-сбросной и дренажной сети шириной по дну от 1,8 до 8 *м* и глубиной до 7 *м*. 1957.

Таблица 42

Наименование работ	Стоимость 1 м³ земляных работ в руб.	
	комплекты машин к трактору С-80	комплекты машин к трактору ДТ-54
Строительство канала в выемке шириной по дну 0,4—1 м, глубиной до 2,8 м, с устройством корыта бульдозером и вырезкой канала грейдером, в грунтах II группы с выкидкой грунта на обе стороны	1,54	2,61
Строительство канала в полунасыпи шириной по дну 0,8—1,2 м, глубиной до 1,5 м, с отсыпкой подушки высотой 0,8 м скрепером и вырезкой канала экскаватором с ковшом емкостью 0,3 м³ при двустороннем расположении резервов	3,11	4,14
Строительство канала шириной по дну 1,5—3 м, глубиной 2,5 м в полунасыпи, с отсыпкой дамб скрепером и досыпкой верха драглайном с ковшом емкостью 0,3 м³	2,52	3,5

§ 3. ПЛАНИРОВКА ПОЛИВНЫХ УЧАСТКОВ

Планировку поливных участков выполняют в целях ликвидации неблагоприятных для поливов всхолмлений и западин и превращения их в площадки с равномерным, но не обязательно одинаковым по их длине уклоном.

Планировкой достигаются следующие серьезные положительные результаты:

1) значительное снижение поливных норм и более равномерное увлажнение поливных участков, что приводит к получению равномерного и повышенного урожая, так как предотвращаются посушки культур на повышенных участках и переувлажнение их в местных понижениях;

2) возможность значительного увеличения поливной струи и сокращения сроков поливов, а также существенного снижения затрат труда на полив;

3) уменьшение потерь на фильтрацию ниже корневой зоны и вследствие этого уменьшение заболачивания и засоления орошаемых участков;

4) повышение к. п. д. оросительных систем;

5) сокращение сроков сева хлопчатника и проведения других сельскохозяйственных работ, так как отпадает необходимость выжидать просыхание переувлажненных низин после каждого полива;

6) снижение командных горизонтов в оросителях (вследствие срезки повышенных бугров) и связанное с этим снижение горизонтов воды в каналах высшего порядка; в результате этого уменьшается объем дамб в рабочей части распределительных и магистральных каналов, а это имеет большое экономическое значение, так как основной объем земляных работ по устройству оросительной сети приходится на дамбы;

7) повышение эффективности дренажа и промывок, так как на неспланированных полях происходит реставрация засоления на буграх;

8) повышение коэффициента земельного использования орошаемых земель;

9) резкое снижение недоделок при постройке временных оросителей канавокопателями;

10) уменьшение, благодаря ликвидации местных понижений, необходимости дренажа.

Из изложенного видно, что планировка является весьма важным мелиоративным мероприятием. Однако до последнего времени планировка не получила достаточно широкого распространения; отчасти это объяснялось при-

мативностью оборудования, которым производились планировочные работы. При системе орошения с временными оросителями планировка приобрела серьезнейшее значение, и для производства планировочных работ созданы высокопроизводительные машины.

Так как при планировках срезается верхний плодородный гумусный слой почвы, то во избежание снижения урожаев глубина срезок не должна, как правило, превосходить 0,15 *м*. Срезки почвы глубиной более 0,15 *м* могут быть допущены как исключение для уничтожения отдельных бугров, препятствующих нормальной работе сельскохозяйственных машин и орудий, а также при наличии мощных черноземов и аллювиальных почв.

В зависимости от принятого способа поверхностного полива различают планировку под полив затоплением (горизонтальная планировка) и планировку под полив по бороздам и полосам (планировка под наклонную поверхность).

На рисовых системах со сплошным затоплением производится горизонтальная планировка, при этом одновременно с планировкой чеков должны выполняться работы по насыпке чековых валиков с заделкой их концов и крестовин.

Кубатура планировочных работ зависит от характера микрорельефа орошаемых участков и колеблется от 50 до 500 $м^3$ на 1 *га*.

К планировочным работам, учитывая их большой объем, можно приступать лишь при наличии специальных рабочих чертежей, основанных на данных вертикальной съемки. Ведение работ без проекта может повлечь за собой ненужное перемещение земляных масс; без проекта можно срезать только отдельные бугры с засыпкой глубоких понижений рельефа.

Ввиду вредного влияния больших срезок на урожайность необходимо либо исключать из орошения крупные бугры, либо предусматривать в таких местах внесение органических и минеральных удобрений, что по некоторым данным может уменьшить вредное действие срезок сразу после планировки. Отрицательное влияние срезок уменьшается также под воздействием культуры травосмесей.

Планировочные работы следует выполнять сразу, так как повторные планировки связаны с удалением верхних горизонтов и разрушением почвенной структуры. Это не относится, однако, к систематическим выравниваниям поверхности полей, повторяемым ежегодно для устранения мелких неровностей, выявляющихся при обработке поля и проведении поливов.

Особо тщательное проведение планировочных работ необходимо при малых уклонах местности и на землях, подверженных засолению.

До последнего времени высокое качество проекта планировочных работ на землях нового орошения обеспечивалось лишь при наличии крупномасштабной высотно-плановой съемки. Проектировка планировочных работ под горизонтальную плоскость производилась на равновеликих по площади квадратах размерами 20×20 *м* при съемке местности в масштабе 1 : 2000 и 10×10 *м*—при масштабе 1 : 1000.

При поливе напуском по полосам и бороздам за проектную площадку, при расположении временных оросителей поперек направления полива, принималась площадь, ограниченная по длине трассами временных оросителей, шириной, в зависимости от сложности рельефа, 100, 150 и 200 *м*. При расположении временных оросителей вдоль направления полива проектирование осуществлялось на площадках, ограниченных трассами временных оросителей.

Основой для руководства при производстве планировочных работ являлся так называемый рабочий план, на котором наносились отметки земли, оконтуривались площадки, подлежащие срезке, и площадки, подлежащие насыпке, указывались направления и расстояния перемещения земляных масс, а также объемы работ. Крупномасштабная съемка площадей, подлежащих планировке, детальная проектировка плоскостей планировки, необходимость перемещения грунта в различных направлениях и на различ-

ные расстояния требуют больших затрат труда на производство проектно-изыскательских работ и служат тормозом при массовых планировочных работах.

Точность выполнения сложных работ по перемещению грунта в различных направлениях и на различные расстояния может быть обеспечена лишь при условии непрерывного и тщательного надзора и контроля за производством строительных работ.

В связи с необходимостью проведения планировочных работ на больших площадях нового орошения институтом Узгипроводхоз Министерства водного хозяйства Узбекской ССР предложен новый метод проектирования и производства строительных работ по планировке орошаемых земель[1].

Этот метод, основанный на накопленном опыте, предусматривает следующие условия, которым должен удовлетворять способ проектирования планировки орошаемых участков.

1. Возможность проектирования под любую заданную проектную поверхность; наглядность и простота как процесса проектирования, так и проекта производства работ.

2. Простота и наглядность разбивочных работ должны быть таковы, чтобы водители планировочных машин могли контролировать свою работу в процессе ее выполнения без помощи технического надзора.

3. При поливе по бороздам весь поливной участок, заключенный между постоянными оросителями (15—20 *га*), должен планироваться без дробления его уступами на отдельные площадки.

4. Схема организации движения скреперов и планировочных машин должна быть строго прямолинейной и простой. Производство работ должно основываться на применении больших скреперов и планировочных машин, работающих на возможно более длинных прямолинейных гонах вдоль всей длины поля с минимальным числом поворотов.

5. Проектирование планировочных работ должно быть объединено с проектированием временной поливной сети так, чтобы при нарезке этой сети по спланированной поверхности не требовалось устройства подушек.

Для составления проекта планировочных работ по предлагаемому методу провешивают базисную линию, как правило, перпендикулярно основному направлению полива за верхней границей поливного участка (рис. 225). На базисной линии разбивается пикетаж через 20 *м* при сложном рельефе или через 25 *м* при более спокойном рельефе. Из точек базисной линии (через 20 или 25 *м*), перпендикулярно к ней, вдоль направления полива, провешиваются параллельные створы, с пикетажем также через 20 или 25 *м*, с промежуточными точками на характерных переломах рельефа и на границах участка.

Одновременно с пикетажем на листе плана участка зарисовывается ситуация участка: старые каналы, отдельные бугры или ямы, дороги и т. п. Масштаб листа плана по базису 1:500, по створам 1:1000; размер листа 50×100 *см*.

По окончании пикетажа производят нивелировку створов с записью отсчетов у соответствующих точек на плане, после чего на линии створов наносят их продольные профили в масштабе 1 : 100.

Проектирование планировочных работ сводится к нанесению на продольные профили линий заданной проектной поверхности с обязательным условием баланса земляных масс на длине каждого профиля; баланс земляных масс должен проектироваться с наименьшей величиной срезок и подсыпок.

Допускаемые продольные и поперечные уклоны поливных участков устанавливаются на основе задания на проектирование или действующих технических условий. Нанесение линий проектной поверхности производится последовательно по каждому профилю, начиная от крайнего.

[1] Институт Узгипроводхоз Министерства водного хозяйства УзССР. Временные указания по составлению рабочих чертежей и производству планировочных работ на землях нового орошения, 1959.

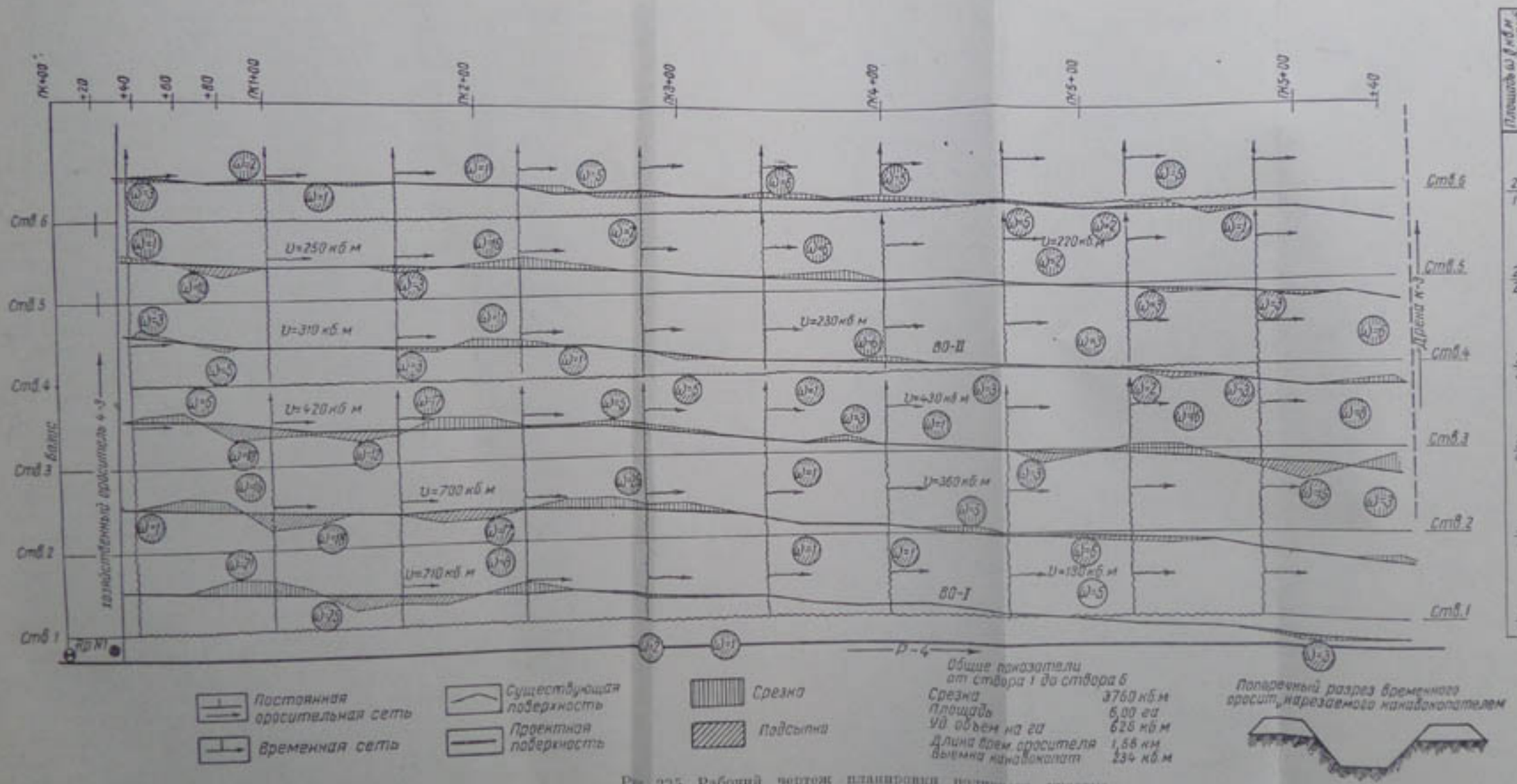


Рис. 225. Рабочий чертеж планировки поливного участка.

При получении баланса необходимо учитывать, что объем срезки должен превышать объем подсыпок на 10—15%, имея в виду, что верхний слой почвы рыхлее подпочвы и подсыпки оседают, а отметки поверхности срезок после вспашки повышаются.

Итоговые объемы работ по полосам записывают в таблицу на плане схемы участка против концов соответствующих полос. Для закрепления проекта планировочных работ в натуре на всех точках створов выставляют вешки высотой 1,5 *м* (рис. 226). Величину срезок или подсыпок обозначают от верха вех лоскутами или вязками двух цветов (например, красным—срезки, белым—подсыпки); кроме того, на затесках вешек под вязками выписывают величины срезок и подсыпок крупными цифрами, чтобы скреперист мог их видеть, не останавливая трактора. Точки нулевых работ обозначают вешками без вязок с надписью «О».

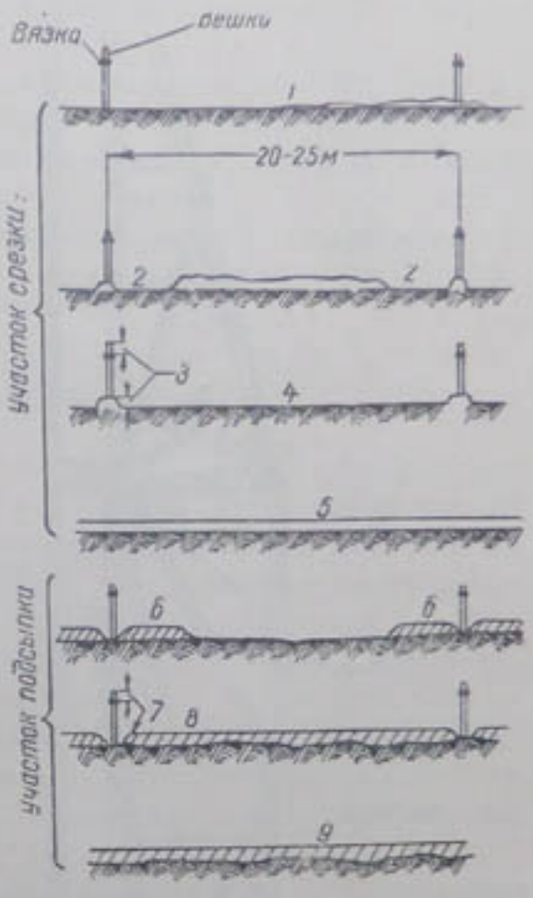


Рис. 226. Разбивка планировочных работ и последовательность их выполнения:

1—полоса, обставленная разбивочными вехами; *2*—последовательность срезки грунта продольными проходами скрепера; *3*—величина срезки; *4*—вид полосы после срезки (под вешками оставлен грунт для срезки); *5*—проектная поверхность полосы (вешки и грунт под ними убраны); *6*—последовательность подсыпки грунта продольными проходами скрепера; *7*—величина подсыпки; *8*—вид полосы после подсыпки (под вешками оставлены узкие полосы для подсыпки); *9*—проектная поверхность полосы (вешки убраны, грунт подсыпан).

Скреперы работают продольными ходами внутри полос. Движение скрепера начинается вдоль створа, отступя от линии вешек на 0,4—0,5 *м*, и продолжается до конца полосы без поворотов. Движение в обратном направлении может производиться по соседней полосе или по противоположной стороне той же полосы. Среднюю часть полосы планируют после приемки крайних проходок, что облегчает скреперисту выдерживание заданного уклона на полосе в целом.

Планировочные работы разделяются на два этапа: 1) подготовка поля к планировке и 2) непосредственно планировка.

К подготовительным работам относятся удаление растительности, засыпка старых каналов, заравнивание отдельных ям, рыхление плотных грунтов в местах предстоящих срезок. К основным работам относятся срезка грунта с повышенных мест и перемещение его в понижения рельефа с последующим разравниванием.

Комплекты машин для планировочных работ. Для предварительного рыхления уплотненных грунтов, особенно на вновь осваиваемых землях и на перелогах, могут быть применены кустарниковые плуги и утяжеленные трехкорпусные и пятикорпусные плуги. Предварительное рыхление при работе скреперов полезно и на грунтах средней по разработке трудности, так как при этом уменьшается сопротивление резанию и несколько повышается производительность.

Для перемещения грунта в качестве ведущей машины применяют скреперы и планировщики. Так как после работы скреперов поверхность планируемого участка имеет неровности, то для придания ей проектного вида применяют тяжелые грейдеры.

В целях дальнейшего упрощения технологии планировочных работ Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидротехники и мелиорации (ВНИИГиМ) сконструирован новый специальный планировщик ПТ-4А (рис. 227)[1]. Он имеет длинную 15-метровую базу и бездонный ковш. Ковш,

[1] И. П. Самсонова. Планировщик ПТ-4А. Изд. МСХ РСФСР, 1957.

Рис. 227. Длиннобазисный планировщик ПТ-4А:
1—рама; *2*—передок; *3*—колеса; *4*—ковш; *5*—механизм подъема ковша.

установленный на уровне соприкосновения с ровной поверхностью, при встрече с повышением (бугром) механически заполняется грунтом, волочит его по ровной поверхности и отсыпает ровным слоем в понижения. Планировка производится при движении машины вдоль и поперек поля, при этом небольшие неровности шириной до 30—35 *м* и высотой до 0,3 *м* машина планирует полностью, а больше—лишь сглаживает. Для планировки больших неровностей требуется предварительное грубое выравнивание поверхности скреперами или бульдозерами.

Планировщик ПТ-4А состоит из следующих основных частей: рамы *1*, передка *2*, колес *3*, ковша *4* и механизма подъема *5* ковша. Ширина рабочего захвата ковша 4 *м*; вес машины 3,67 *т*. Планировщик работает в сцепе с трактором С-80.

В Украинской ССР сконструирован длиннобазисный планировщик ПС-2,75 с шириной рабочего захвата ковша 2,75 *м*; машина работает в сцепе с трактором ДТ-54.

§ 4. МАШИНЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДРЕН

В состав работ по осушению заболоченных земель входит устройство дренажно-коллекторной сети. Открытая регулирующая сеть (осушители) прокладывается глубиной до 1,2 *м* с расположением каналов на расстоянии не более 50—100 *м* друг от друга. Такая густая сеть каналов затрудняет применение высокопроизводительных машин для обработки почвы, посева и уборки урожая. Поэтому открытые осушители рекомендуется заменять, где это возможно, закрытой осушительной сетью.

Открытые каналы-осушители могут выполняться канавокопателями, одноковшовыми экскаваторами, оборудованными обратной лопатой или экскаваторами-драглайнами; при подходящих условиях может применяться взрывной способ.

При устройстве закрытого траншейного дренажа (гончарный, деревянный, фашинный и др.), закладываемого при осушении на глубину 1,2—1,5 *м*, траншеи для дрен можно выполнять многоковшовыми экскаваторами с продольным черпанием или колесными (роторными) экскаваторами. Для засыпки дрен очень подходящими машинами являются скреперы и грейдеры.

К особому виду дренажа относится кротовый, щелевой и аэрационный дренажи.

В минеральных грунтах кротовые дрены прокладывают диаметром до 120 *мм* на глубину до 0,8 *м*. В торфяных грунтах глубина кротовых и щелевых дрен достигает 1,2 *м*, а диаметр дрен 250 *мм*. Расстояние между кротовыми дренами принимают от 5 до 10 *м*. В отличие от собственно кротового дренажа кротование почвы (аэрационный кротовый дренаж) производят на глубине 0,4 — 0,6 *м* от поверхности земли, с расстоянием между кротовинами 1—3 *м*.

Для прокладки аэрационных и кротовых дрен применяют специальные машины.

Дренажно-кротовая машина ДКН-2 (рис. 228) навешивается на тракторы ДТ-54 или ДТ-55; она предназначена для прокладки кротовых дрен в торфяных бесплистых грунтах[1].

Рабочим органом машины служит нож *1* и дренер *8*; нож разрезает грунт по вертикали на глубину до 1,2 *м*; на его конце при помощи пластин *2* закреплен направляющий блок *12*. В верхней части ножа, на левой его стороне, закреплена прямозубовая рейка *3*, она служит для передвижения ножа к коробке *4* с помощью червяка, закрепленного на валике; к этому же валику прикреплена коническая шестерня, которая входит в зацепление со второй конической шестерней, закрепленной на другом валике. Червяк и конче-

[1] Е. В. Коковин и М. Ф. Незнаев. Механизация работ по осушению и освоению земель. Сельхозгиз, 1956.

ская пара укреплены в закрытом кожухе *5* на коробке ножа. Валик, на который посажена вторая коническая шестерня, получает вращение или вручную—от штурвала *6*, или через звездочку *7*—при автоматическом подъеме ножа. На тыловой стороне ножа нанесены деления для определения глубины погружения ножа в грунт. Дренер *8* изготовляется из твердых пород дерева, проваренного в масле; передняя его часть покрывается металлом. Дренер крепится к тросу *9* при помощи штанги, которая проходит внутри дренера. С помощью кронштейнов *13*, приваренных к раме, машина крепится к трактору на месте предварительно снятых бугелей прицепа. Верхняя пара швеллеров рамы при помощи планок и тяг *14* прикрепляется к заднему мосту трактора. Ось барабана лебедки крепится на левом нижнем швеллере рамы. При работе машины коробку ножа *4* закрепляют на раме предохранителем, вставляемым в отверстие рамы; при встрече с препятствием предохранитель срезается, чем предупреждается поломка машины.

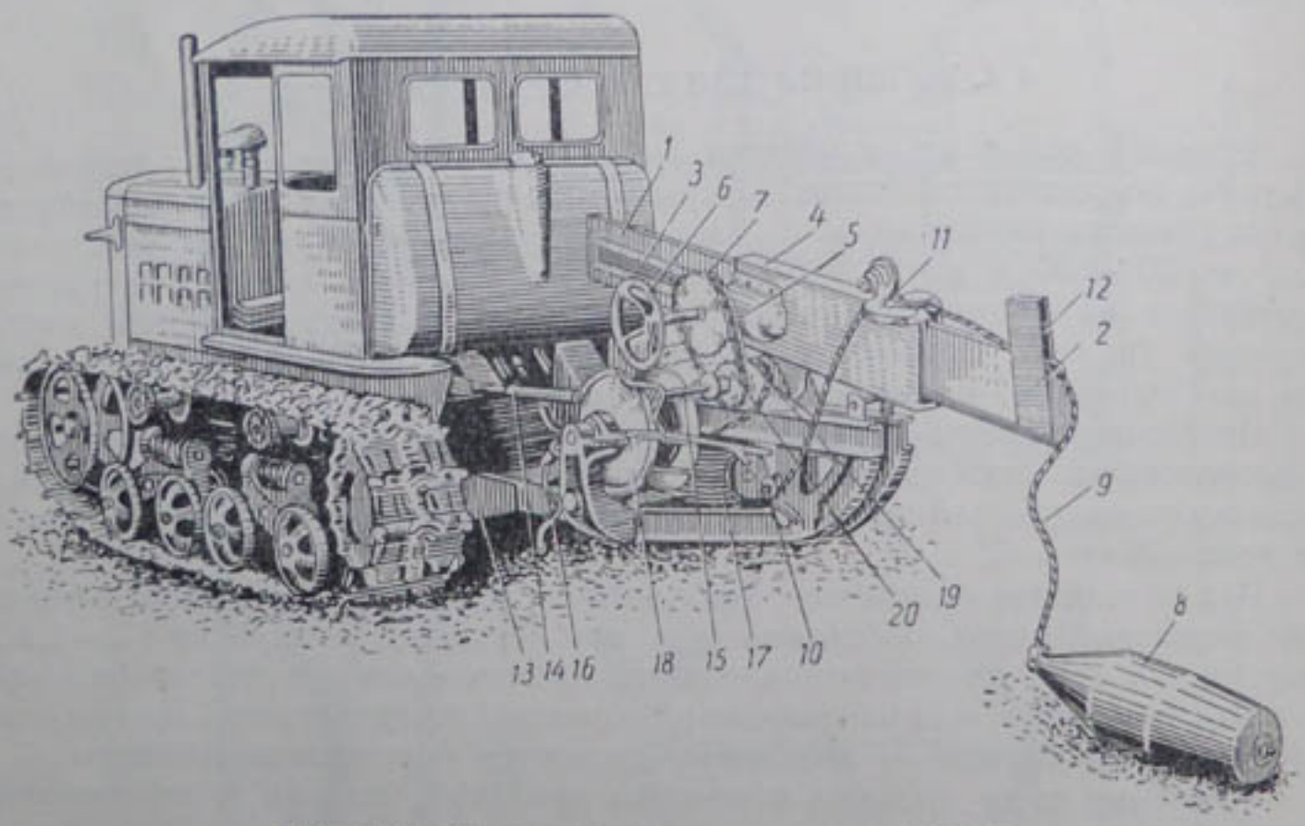


Рис. 228. Дренажно-кротовая машина ДКН-2:
1—нож; *2*—пластины; *3*—рейка; *4* коробка ножа; *5*—кожух; *6*—штурвал; *7*—звездочка; *8*—дренер; *9*—трос; *10, 11, 12*—направляющие блоки; *13*—кронштейны; *14*—тяги; *15*—рычаг включения барабана; *16*—механизм фиксации барабана; *17*—редуктор; *18*—барабан лебедки; *19, 20*—звездочки.

Для передачи вращения от карданного вала к барабану *18* лебедки служит редуктор *17*, кулачковая муфта и рычаг включения *15*; барабан выключается механизмом *16* фиксации барабана. Движение от вала отбора мощности трактора передается на механизм автоматического подъема ножа; механизм выключается одновременно с остановкой трактора.

При работе машины на первой скорости трактора ДТ-45 (3,59 *км/час*) получается уклон дрен, равный 0,0027, и на второй скорости (4,65 *км/час*)—0,0020; следовательно, при продвижении машины на 1 *м* механизм подъема поднимает нож на 2 *мм*.

Для прокладки дрен в торфяных грунтах применяют дренеры диаметром 160, 200 и 250 *мм* при максимальной глубине закладки дрен 1,2 *м*. В случае использования машины для прокладки дрен в минеральных грунтах используют дренеры диаметром 80, 100 и 120 *мм*, а глубину закладки дрен принимают не более 0,8 *м*.

Прокладку кротовых дрен машиной ДКН-2 при ровной или предварительно выровненной поверхности производят на прямой тяге: машину в транспортном положении подводят к устью дрены и устанавливают по направлению трассы дрены так, чтобы нож находился над коллектором.

Коробку с ножом ставят в рабочее положение и закрепляют предохранительным штырем; с помощью штурвала нож устанавливают на заданную глубину и ставят металлический предохранитель. Заперев барабан лебедки и выключив передачу на подъемный механизм ножа, включают вал отбора мощности. Как только дренер войдет в грунт, включают передачу подъемного механизма ножа. При продвижении машины происходит автоматическое постепенное выглубление ножа и дренера. В конце дрены нож с дренером выглубляется на поверхность и машина переводится в транспортное положение для переезда на следующую дрену.

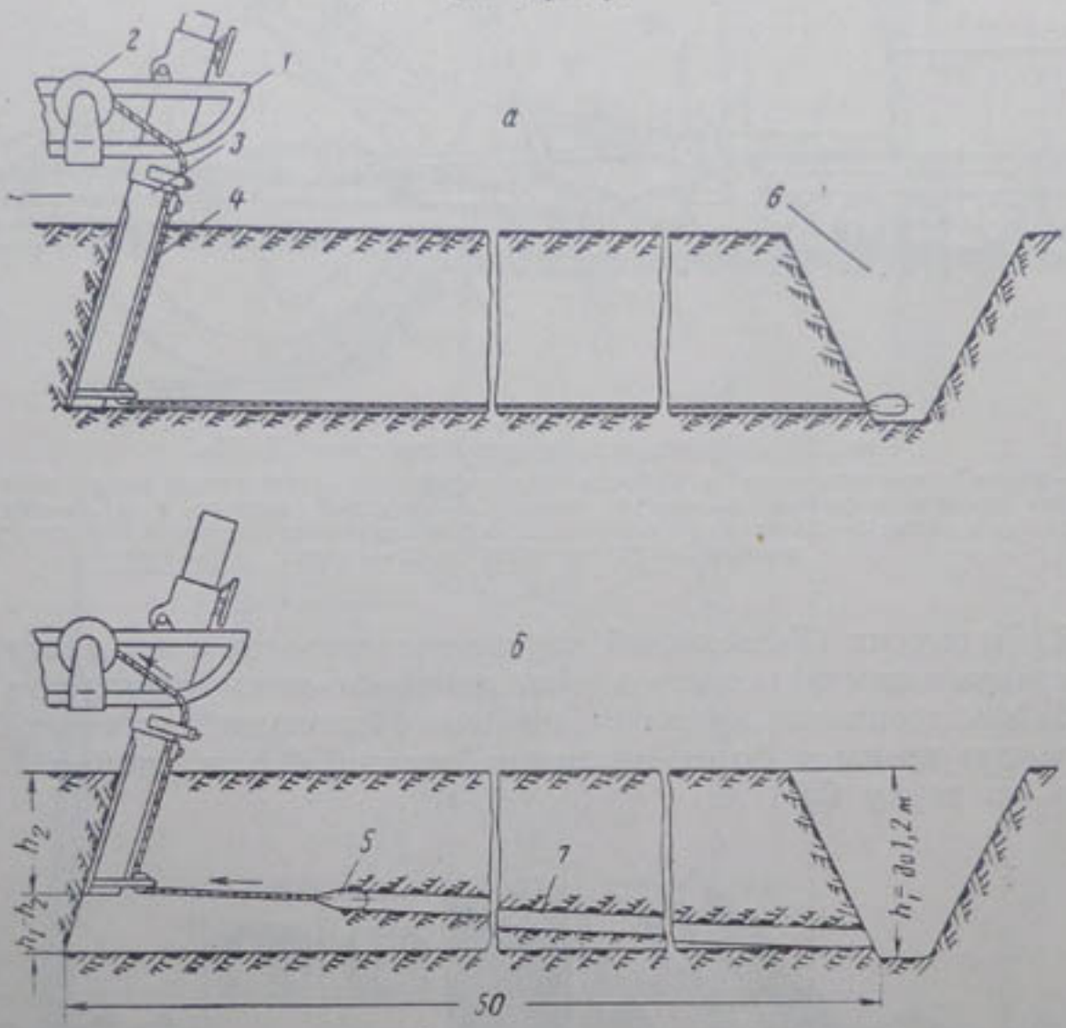


Рис. 229. Принципиальная схема прокладки кротовых дрен машиной ДКН-2 на участках с неровным рельефом поверхности:

а—прокладка троса в земле параллельно ее поверхности; *б*—протягивание дренера наматыванием троса на барабан; *1*—рама машины; *2*—барабан; *3*—нож; *4*—трос; *5*—дренер; *6* коллектор; *7*—кротовая дрена.

На участках с неровным, расчлененным рельефом работа производится расчлененным способом (рис. 229) на основе предварительно составленных пикетных ведомостей глубин дрен, определенных по данным нивелировки трасс дрен и проектных уклонов. После установки машины в исходное положение у коллектора она продвигается вперед, чтобы прорезать в грунте щель и проложить по дну ее трос, который сматывается с барабана лебедки. При движении машины вперед дренер удерживается у устья (в коллекторе).

Пройдя 50 *м* трактор останавливают, поднимают нож на высоту h_1-h_2, соответствующую проектной отметке дна дрены в этой точке, включают вал отбора мощности и барабан лебедки для намотки троса и протягивания дренера; дренер пройдет по прямой линии и проложит дрену на этом пикете с заданным уклоном.

Когда дренер приблизится к ножу машины на 2—3 *м*, вал отбора мощности и барабан лебедки выключают и машину передвигают на следующий пикет, удерживая дренер в последнем положении.

Однокорпусная дренажная кротовая машина КДМ-4 конструкции УкрНИИГиМ в отличие от машины ДКН-2 является навесной к трактору

ДТ-54, имеет специальный механизм регулирования уклона кротовой дрены; она предназначена для прокладки дрен на старопахотных и торфяных бесшнистых грунтах на глубину от 0,5 до 1,1 *м*; диаметр дренера 250 *мм*; установочные уклоны для дрен 0,0015; 0,003; 0,0045; 0,006.

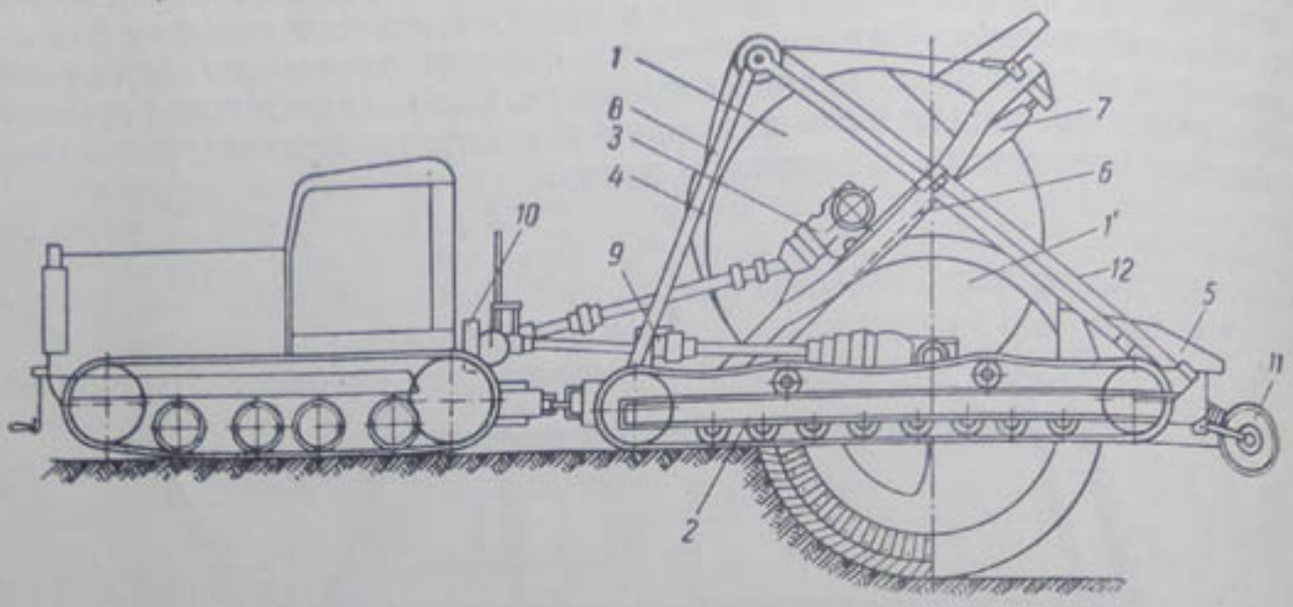


Рис. 230. Дренажно-дисковая машина ДДМ-5:

1, 1'—фреза в транспортном и рабочем положениях; *2*—гусеничная рама; *3*—коробка механизма вращения фрезы; *4*—кожух фрезы; *5*—грязевой щиток; *6* и *7*—подъемная и качающаяся рамы; *8*—двунога; *9* лебедка; *10*—дополнительная коробка передач; *11*—заглубляющий дрену аппарат; *12*—канат.

С. Я. Чернухин (Всесоюзный научно-исследовательский институт торфяной промышленности) сконструировал дренажно-дисковую машину ДДМ-5 (рис. 230) для прокладки кротового (щелевого) дренажа в пнистых болотах, выполняющую дрены в форме трапеции высотой 0,8 *м*, шириной по дну 0,16 *м* и по верху 0,04 *м*.

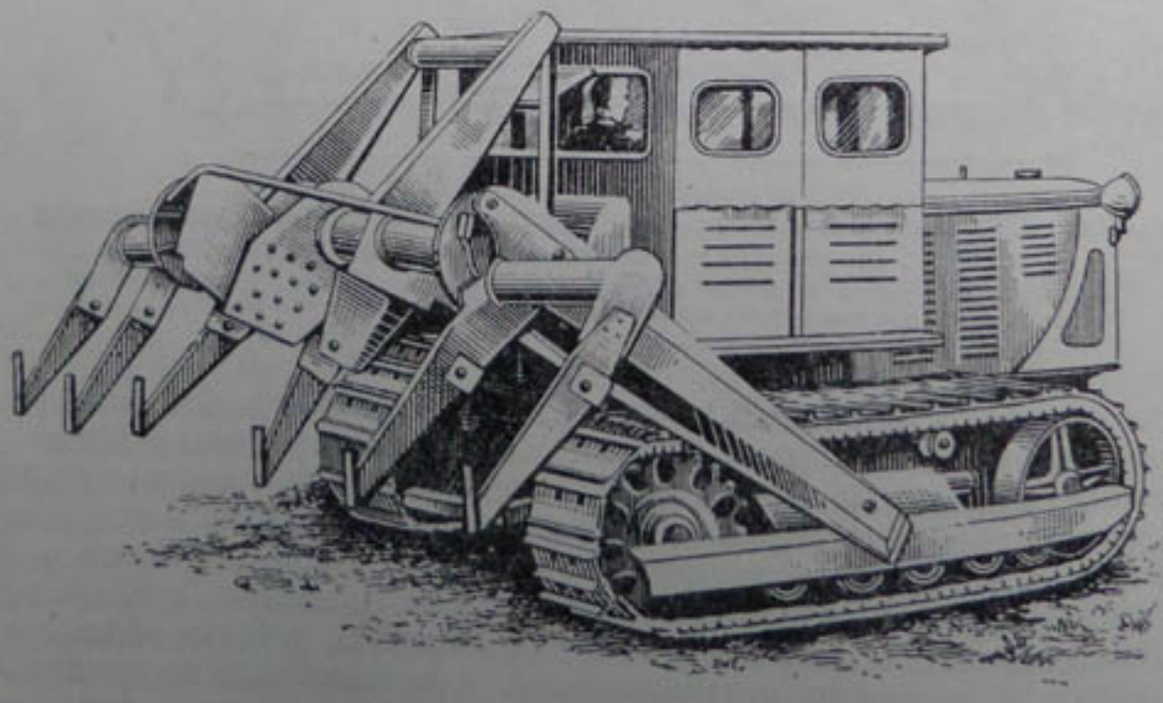


Рис. 231. Навесной многорядный кротователь.

Рабочим органом служит дисковая фреза *1* диаметром 2,4 *м*, имеющая три рода движения: вращательное, качающееся и поступательное (вместе с машиной). Фреза с 72 зубьями на ней делает 140,5 оборота и 68,5 качания в минуту; она имеет большую окружную скорость—17,7 *м/сек*; это обеспечивает полную переработку пней, корневищ, волокон, полный выброс оффрезерованного грунта и получение гладких и чистых стенок и дна дрены.

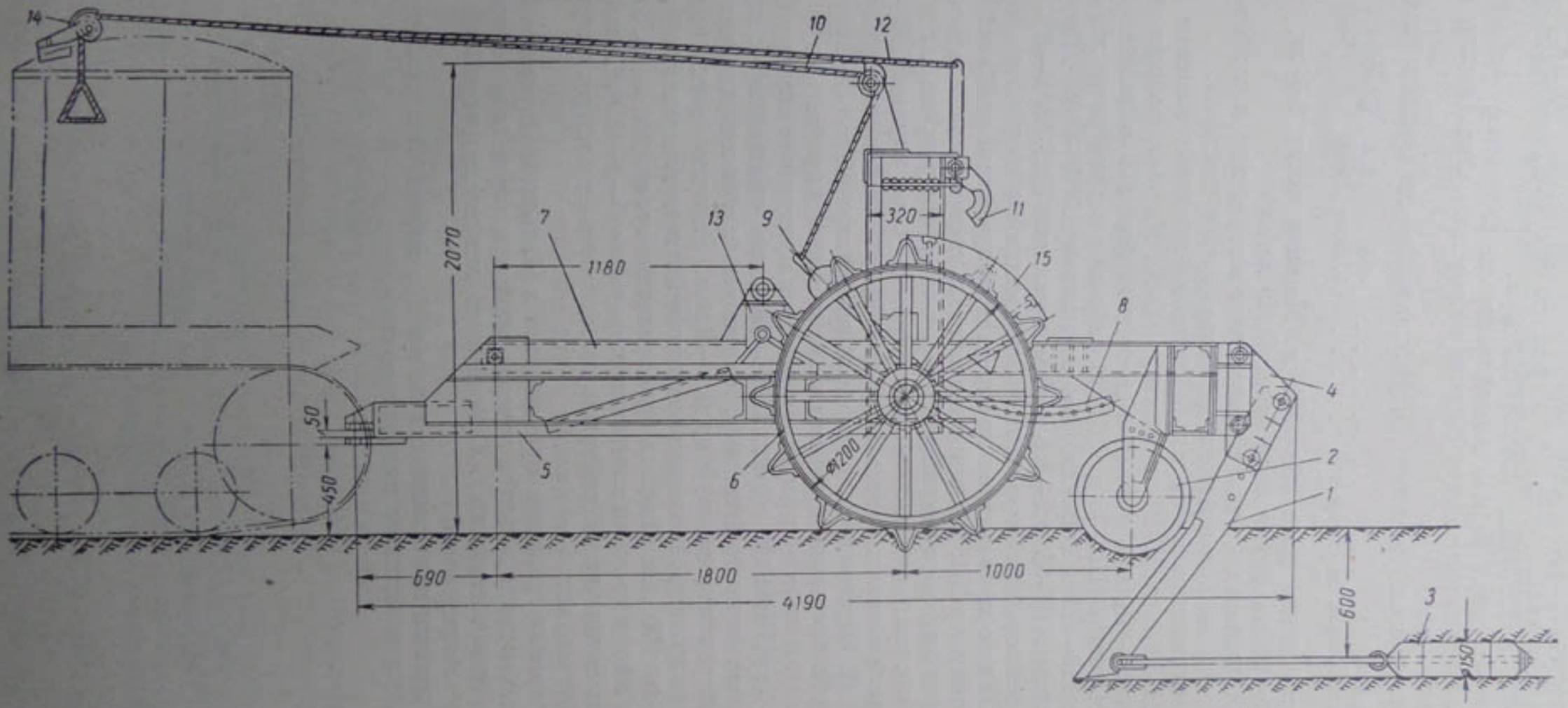


Рис. 232. Аэрационная кротовая дренажная машина 5КДМ-2:

1—черенковый нож; *2*—дисковый нож; *3*—дренер-уплотнитель; *4*—косынка; *5*—основная рама; *6*—колесо; *7*—внутренняя рама; *8*—рейка зубчатая; *9*—противовес; *10*—натяжной трос; *11*—защелка; *12*—трос; *13*—масляный амортизатор; *14*—рамка управления; *15*—бандаж.

Глубина дрены-щели 95 *см*; верхняя часть дрены на глубине 35—40 *см* закрывается специальным механизмом *11*.

Дрены выполняются почти без уплотнения окружающего грунта; площадь их в 4—5 раз больше кротовых дрен.

Осадка болота, промерзание и оттаивание не нарушают работы дрен. При осадках наиболее интенсивно сжимается верхняя часть дрены, полость у дна сжимается мало.

Производительность машины ДДМ-5 зависит от степени пнистости:

Плотность в %	0,6	1,5	Более 1,5
Производительность за смену в *м*	1250	1050	780

Предельная длина дрен 250—300 *м*. Машина весит 6,4 *т*; среднее удельное давление на грунт составляет 0,20 *кг/см²*.

Описанный дренаж получил широкое распространение в торфяной промышленности, где он применен на десятках тысяч гектаров.

Наша промышленность выпускает дренажно-кротовые машины КДГ-55 к трактору ДТ-55 и КДГ-80 к трактору С-80. Каждая машина работает с одним дренером; глубина закладки дрен в торфах 1,3 *м*, в минеральных грунтах 1 *м*. Машины КДГ-55 и КДГ-80 работают с дренерами диаметрами соответственно 180—220 и 200—250 *мм*, с уклоном 0,001—0,006. Производительность машины КДГ-55 1,2—1,8 *км/час* и машины ГДГ-80 2—3,5 *км/час*.

Навесной многорядный кротователь, являющийся сменным оборудованием универсального мелиоративного агрегата, разработанного СевНИИГиМ, изображен на рисунке 231. Каждый кротователь состоит из стального ножа, на нижнем конце которого шарнирно укреплен цилиндр-дренер. Он формирует круглую или овальную полость диаметром 5—6 *см*, глубиной 40—50 *см*; кротовины прокладываются через 1 *м*. Для кротования почв одновременно со вспашной Т. С. Борщов сконструировал кротователь Крот-8Б, рассчитанный на работу с трех-пятикорпусным тракторным плугом.

Для прокладки кротовых аэрационных дрен применяют машину 5КДМ-2 конструкции УкрНИИГиМ (рис. 232). Машина прицепная к трактору ДТ-54, прокладывает кротовины на старопахотных или запущенных целинных беспнистых землях, на глубину 0,4—0,6 *м*. Рабочие органы состоят из пяти черенковых ножей *1*, пяти дисковых ножей *2* и пяти дренеров-уширителей *3* диаметром 150 *мм*. Машина одновременно прокладывает 5, 3 и 2 дрены. Расстояние между дренами соответственно равно 1—2—4 *м*. Средняя производительность за час чистой работы, в зависимости от количества работающих ножей, составляет 4—6 *км*.

Кротовый дренаж успешно применяется в Польской Народной Республике в торфяных и минеральных почвах; срок его службы в минеральных почвах короче, чем в торфяных. Спустя пять лет после устройства дрены работали удовлетворительно.

Кротовый дренаж применяется также в Голландии, Англии, Германии, где изготовляются и машины для кротования.

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ РАБОТЫ

Глава XV

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

§ 1. БЕТОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ В ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В гидромелиоративном и гидротехническом строительстве бетонные работы, наравне с земляными, занимают важнейшее место. Бетон применяется для постройки гидростанций, насосных станций водосливных и водоподъемных плотин, шлюзов, водосбросов, головных сооружений оросительных систем, дюкеров, акведуков, мостов и других искусственных сооружений, а также для облицовки каналов и гидротехнических туннелей, креплений откосов и др.

Объем бетонных работ при строительстве отдельных сооружений весьма велик; например, при сооружении Днепрогэса имени В. И. Ленина (1927—1932 гг.) он составил 1,1 млн. $м^3$ и Волжской ГЭС имени В. И. Ленина (1952—1957)—7,3 млн. $м^3$.

Темпы выполнения бетонных работ при возведении крупных гидроузлов все время возрастают; например, мировой рекорд укладки бетона, достигнутый на Днепрострое,—5400 $м^3$ в сутки—был перекрыт на Волгодонстрое и составил 12 000 $м^3$ в сутки. На строительстве Волжской гидроэлектростанции имени В. И. Ленина укладывали до 20,5 тыс. $м^3$ в сутки.

Кроме высоконапорных гидротехнических сооружений большого объема, на гидромелиоративных системах приходится строить ряд бетонных и железобетонных сооружений с небольшими напорами и малыми объемами. К ним относятся: шлюзы и перегораживающие сооружения, перепады, быстротоки, сифоны, головные сооружения распределителей, оросителей, колхозных водовыделов и т. п. Объемы некоторых из них составляют несколько десятков кубических метров бетона и менее. Характерным для сооружений оросительных систем является их разбросанность и повторяемость (что позволяет применять типовые конструкции). Однако и на этих системах объем бетонных и железобетонных работ остается высоким.

Опыт показывает, что часто повторяющиеся сооружения целесообразно возводить из сборного бетона, с тем чтобы на месте производились монтаж и омоноличивание.

В отличие от промышленных объектов бетон в гидротехнических сооружениях выдерживает напор воды, достигающий более 200 $м$; он подвергается истиранию наносами, влекомыми водой, во многих случаях воздействию агрессивных вод, попеременному замораживанию и оттаиванию в пределах колебаний горизонта воды зимой, попеременному смачиванию и высыханию в теплое время года.

Вода, проникающая в толщу бетона, вымывает свободную известь, чем увеличивает проницаемость бетона.

Все это определяет специфические особенности так называемого гидротехнического бетона.

§ 2. ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЙ БЕТОН

Согласно ГОСТ 4795—53, 4797—49, гидротехническими называют бетоны, применяемые для возведения частей сооружений, постоянно или периодически омываемых водой и обладающие такими специальными свойствами, которые обеспечивают длительную службу бетонных сооружений в указанных условиях.

Отличительным свойством гидротехнического бетона является его водостойкость, обеспечивающая длительную работу сооружения в воде. Гидротехнический бетон, кроме того, должен обладать необходимой водонепроницаемостью, морозостойкостью, пониженным тепловыделением в массивных конструкциях, а в некоторых случаях солеупорностью и повышенным сопротивлением на истирание. Наконец, гидротехнический бетон должен обладать достаточной (предусмотренной проектом) прочностью, удобообрабатываемостью, долговечностью и экономичностью.

В гидротехнических сооружениях принят принцип разбивки бетона на зоны, характерные по условиям воздействия на них внешней среды в процессе их эксплуатации. Каждой зоне соответствует марка бетона. На Волгодонстрое, например, было запроектировано применение 10 марок бетона с разбивкой по прочности от 170 до 200 *кг/см*^{2}, по водонепроницаемости от В-4 до В-8, (т. е. от 4 до 6 *атм*) и по морозостойкости от М-50 до М-150 (количество циклов).

Гораздо труднее обеспечить исключительно важное требование к гидротехническому бетону—его плотность, теснейшим образом связанную с водонепроницаемостью, морозостойкостью и солеупорностью. Количество воды, которое требуется для химического процесса схватывания и твердения бетона, определяется соотношением $\frac{В}{Ц} = \frac{\text{вода}}{\text{цемент}} < 1$. При одном и том же $\frac{В}{Ц}$ подвижность бетонной массы будет различной в зависимости от подбора гранулометрического состава заполнителей (щебень, песок и добавки пластификаторов). При избытке воды (повышенная пластичность бетонной массы), не участвующей в химическом процессе, после ее испарения в бетоне получается большое количество пустот, что резко снижает качество бетона.

В производственных условиях подвижность бетонной смеси определяется по сплыву стандартного конуса (чем жестче бетонная смесь, тем меньше сплыв). Современные технические средства позволяют обрабатывать жесткую бетонную смесь с осадкой конуса 2—4 *см*.

Чем выше пластичность бетона, тем больше надо добавлять цемента для получения равнопрочного бетона (до 10—15%), а чем больше процентное содержание цемента, тем выше явления экзотермии. Кроме того, избыток воды в смеси приводит при укладке к расслоению компонентов бетона (седиментация) и к его неоднородности. Таким образом, основное качество—плотность гидротехнического бетона—зависит от правильности подбора состава бетонной смеси, нормальной работы дозирующих и взвешивающих устройств на заводе, изготовляющем бетонную смесь, правильности выбора марки цемента и его добавок и, наконец, от тщательности проработки и ухода за бетоном после его укладки.

Согласно новейшим исследованиям, плотность бетона определяется не его объемным весом, как это обычно считают, и даже не количеством пор. Большое значение имеет физический характер пористости (разобщенный или сообщающийся), от чего и зависит в конечном счете плотность бетона. Высокая структурная плотность бетона всегда благоприятно отражается на его стойкости ко всем видам агрессии. Большое значение имеет равномерность состава бетона, зависящая от времени перемешивания (см. главу XVII).

Требование солеупорности необходимо предъявлять к частям гидротехнических сооружений, омываемым минерализованными грунтовыми водами. Поэтому в настоящее время наряду с повсеместно принятым портланд-

цементом (в основном из силикатов кальция, почему его называют также силикатным цементом) для гидротехнических работ применяют более стойкие в гидравлической среде пуццолановые цементы—смесь портланд-цемента (75—50%), активной минеральной добавки и небольшого количества гипса.

Возможно применение шлако-портланд-цементов, полученных от совместного помола цементного клинкера и гранулированного доменного шлака с примесью топочных зол. Эти цементы имеют высокую стойкость против действия минерализованных вод и низкое тепловыделение при твердении, но они не морозостойки.

В последнее время на стройках широко применяется введение поверхностно-активной добавки сульфитно-спиртовой барды (ССБ)—массового отхода бумажной и деревообрабатывающей промышленности. Введение ССБ в количестве 0,25% от веса цемента резко увеличивает подвижность бетонной смеси, вследствие повышения гидрофильности системы благодаря адсорбции на поверхности твердых частиц цементного порошка и образованию гидратной оболочки. Добавки ССБ улучшают обрабатываемость бетонной смеси, сокращают потребность в воде, вследствие чего расход цемента может быть снижен на 8—10% при сохранении водоцементного отношения и подвижности; кроме того, повышается прочность, морозостойкость и водонепроницаемость бетона.

Пластифицирующие добавки удлиняют срок схватывания бетонной смеси и уменьшают тепловыделение в первые периоды твердения бетона, что особенно важно при возведении массивных гидротехнических сооружений.

В настоящее время цементная промышленность выпускает по требованию цемент с присадкой ССБ; однако для бетонных работ малого объема можно организовать присадку барды и пластифицирующих добавок на месте выполнения работ по специальной инструкции[1].

Эти добавки широко применялись на строительствах Свирской ГЭС, Волго-Донского канала, Волжской, Каховской и других ГЭС; введение их позволило сократить расход цемента на 8—10%.

Применяются и другие поверхностно-активные добавки типа мыл (абиетаты, мылонафты, воздухововлекающие добавки). При их введении образуется высокодисперсная смесь воздуха и воды и увеличивается объем воздуха в смеси. Добавки эти весьма сильно повышают морозостойкость и водонепроницаемость бетона.

Поверхностно-активные добавки повышают удобообрабатываемость бетонной смеси и их влияние в этом отношении значительно сильнее, чем увеличение осадка конуса за счет добавки воды. Это позволяет перейти к подбору бетона не по осадке конуса, а по удобообрабатываемости, что сокращает расход цемента[2].

В гидротехнических сооружениях применяют жесткий бетон, как наиболее плотный и требующий меньшего количества цемента. Жесткий бетон наиболее трудно (по сравнению с пластичным и литым) поддается обработке и уплотнению, которое обязательно должно производиться механическими способами (вибрирование глубинное и поверхностное, вакуумирование).

Гидротехнические конструкции по ГОСТ 4795—49 разделяются на следующие виды: а) массивные бетонные и слабоармированные конструкции, где применяют бетон с осадкой конуса, равной 2—6 *см*; б) железобетонные конструкции, сечение арматуры которых не превышает 1% от площади расчетного бетонного сечения, с осадкой конуса, равной 6—9 *см*; в) железобетонные с сечением арматуры, превышающим 1% от площади расчетного бетонного сечения.

Сооружения из массивного бетона и армобетона достигают больших размеров (до 222 *м* высоты). Напряжения в них невелики; опасны напряже-

---

[1] Справочник по гидротехнике. Водгео Госстройиздат, 1955.

[2] В. В. Стольников. Современные достижения в области исследований гидротехнического бетона. ВНИИГ имени Веденеева, Ленинград, 1957.

ния, возникающие вследствие экзотермии и усадок, что служит причиной образования трещин. Последние же являются причиной последующей коррозии арматуры и разрушения бетона. Поэтому в массивных сооружениях нужно применять низкотермичный бетон с минимальным количеством цемента. Плотность бетона в сооружении может быть достигнута также в результате дополнительного помола цемента с песком или применения мелкозернистых песков в определенной пропорции.

В США для снижения экзотермии в массивном бетоне широко применяют на гидростройках добавку к цементу золы, получаемой от сжигания пылевидного топлива на тепловых электростанциях; зола повышает водонепроницаемость бетона и улучшает удобообрабатываемость бетонной смеси.

Бетон в облицовках каналов в меньшей степени подвержен перенапряжениям и деформациям вследствие экзотермических явлений. Бетонным облицовкам следует придавать достаточную прочность и хорошую сопротивляемость истиранию наносами.

Долговечность—одно из важнейших требований к гидротехническому бетону. Срок службы бетонных и железобетонных сооружений может сокращаться под влиянием физико-химической и физико-механической коррозии бетона и стальной арматуры.

§ 3. СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ КОМПЛЕКСА БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАБОТ

К комплексу бетонных и железобетонных работ при возведении монолитных сооружений относятся:

1) заготовка, очистка и фракционирование заполнителей бетона-щебня или гравия и песка; 2) транспортировка заполнителей от места заготовки к бетонному заводу и их временное складирование; 3) обогрев или охлаждение заполнителей; 4) смешение заполнителей с цементом, водой и добавками на бетоносмесительных установках бетонного завода; 5) погрузка готовой смеси в средства транспорта; 6) выгрузка бетонной смеси из средств транспорта, подача в подготовленный заранее блок и распределение ее по блоку; 7) уплотнение уложенной смеси, когда и достигается окончательное перемешивание бетонной смеси; 8) уход за свежеуложенным бетоном.

При большом расстоянии перевозки можно возить отдозированные и перемешанные заполнители, а цементный раствор вводить в сухую смесь в дополнительной бетономешалке по прибытии на место или перемешивать смесь в дороге в автобетономешалках. При уплотнении бетона и наличии тяжелых вибраторов применяется втапливание бетонных массивов или камней в уложенный бетон, что дает экономию цемента.

В связи с широким применением мощного кранового оборудования при работах по укладке бетона шестая операция может быть разбита на две; на специальном стенде бетонируется только часть сооружения (несущий каркас или наружные грани) вместе с арматурой и такая конструкция доставляется в блок, где и устанавливается; после того, как из нескольких сборных деталей блоку будут приданы проектные очертания, пустоты между сборными деталями дополняются обычным бетоном (омоноличиваются).

В комплекс бетонных работ входят также арматурные работы (до сварки арматурного каркаса и напряжения струнной арматуры включительно), изготовление и установка опалубок, плит оболочек, облицовок, закладных частей и трубопроводов, а также освидетельствование всех конструкций в блоке перед бетонированием, осмотр и испытание блока после окончания бетонирования.

Успех бетонных работ зависит как от правильной организации каждого процесса, так и от взаимной согласованности отдельных процессов. Работы следует выполнять в определенной последовательности, причем производительность и сроки выполнения каждого вида работ должны обеспечивать окончание в назначенный срок следующей, взаимно с ним связанной работы, а также всего сооружения в целом.

Бетонные работы весьма трудоемки, поэтому необходима комплексная их механизация; она не только сокращает затрату рабочей силы, но вместе с тем повышает качество бетонных работ и позволяет снизить расход цемента.

Строительная индустрия в СССР располагает разнообразными механизмами, обеспечивающими выполнение всех работ по приготовлению бетона, изготовлению арматуры, монтажу конструкций в блоке, укладке и уходу за бетоном, а также по транспортировке бетонной смеси. Однако вследствие недостаточно четко организованной технологии работ на некоторых стройках еще велико количество вспомогательного персонала, механизмы недостаточно загружены. Поэтому такие сложные работы, как арматурно-бетонный комплекс, должны выполняться по технологической карте.

Глава XVI

ЗАГОТОВКА И ОБЛАГОРАЖИВАНИЕ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

§ 1. ТРЕБОВАНИЕ К ЗАПОЛНИТЕЛЯМ, ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ

Крупный заполнитель (ГОСТ 4797—49) используется в виде гравия или щебня каменных (осадочных, или изверженных) пород крупностью от 5 до 150 *мм*. Верхний предел крупности заполнителя не установлен, однако большинство строек применяет заполнитель не крупнее 120 *мм*. Применение более крупного щебня вызывает повышенный износ лопаток и облицовок барабана; труднее достигается однородность бетона, он легче расслаивается при транспортировке и особенно при спуске в блок. Кроме того, применение крупного заполнителя ограничивается требованием «проходимости» щебня между стержнями арматуры (чтобы не было каверн.) Поэтому для густоармированных конструкций применяют мелкий гравий (5—40 *мм*).

Чтобы подобрать оптимальный состав бетона на данном конкретном щебне (гравии), лаборатория производит ряд пробных замесов—наилучший состав имеет наименьший объем и наибольший объемный вес (за счет полного использования всего пространства между крупным заполнителем).

На строительстве Бухтарминской ГЭС проводились в производственных условиях опыты по отощению бетонной смеси втапливанием крупных массивов размером до 350 *мм* в укладываемый бетон. Массивы втапливают с помощью переоборудованного вибратора И-50 или пакета из этих вибраторов. Это приводит к значительному снижению расхода цемента, без ущерба для качества сооружения[1]. Основные трудности для практического использования указанного метода заключаются в сложности механизации подачи крупного камня и равномерного распределения его в блоке, а также в необходимости иметь специальные мощные вибраторы, изготовление которых в СССР еще не освоено. Отметим, наконец, что крупные массивы можно применять только в неармированных или в слабоармированных конструкциях.

На некоторых стройках СССР (Днепрогес, Чирчикские ГЭС) в целях экономии цемента уже применялось втапливание крупного камня («изюма») в бетонную смесь.

Это имеет место и на некоторых зарубежных стройках (плотина на р. Окер в Германии, плотина Байенберг). На первой из этих плотин бетонная смесь изготовлялась на мелких заполнителях крупностью до 30 *мм* с втапливанием камней размером 200 *мм*. Прочность бетона была 300 *кг/см*^{2}, а прочность бетона, изготовленного обычным способом, 280 *кг/см*^{2}. Для втапливания камней применялись внутренние вибраторы, как более экономичные.

На плотине Байенберг бетонная смесь изготовлялась с заполнителем крупностью до 70 *мм*, а для втапливания применялись камни размером до 400—500 *мм*.

---

[1] Б. С. Ухов, П. С. Елецкий и др. Опыт бетонирования массивных блоков методом отощения бетонной смеси. «Гидротехническое строительство» № 12, 1958.

За рубежом для втапливания крупных камней в бетонную смесь применяются специальные поверхностные вибраторы типа «Маммут» с электродвигателем мощностью 56 *л. с.*, с числом оборотов вала 3000 в минуту, весом 2 *т* (с возможностью догрузки до 18 *т*)[1].

Форма щебня (гравия) влияет на качество бетона. Наилучшие показатели по прочности и плотности получаются при форме щебня, близкой к кубу. Такой щебень выходит из молотковых дробилок. Конические дробилки дают часть щебня плоской формы; челюстные с простым качанием образуют большое количество плитчатых осколков, а челюстные со сложным качанием—щебенку равномерной и правильной формы, близкой к кубу или орешку.

Гравий (щебень) размером от 5 до 20 *мм* считается сортовым мелким, от 20 до 40 *мм*—сортовым средним и от 40 до 120 *мм*—крупным.

Наибольший размер гравия не должен превышать $^3/_4$ расстояния между стержнями арматуры и $^1/_5$ размера конструкции.

Песок должен иметь крупность от 0,3 до 5 *мм*. Применение мелких песков невыгодно, так как при этом получается более жесткая смесь и требуется увеличение количества цемента для обеспечения удобоукладываемости. Вблизи некоторых крупных строек (Сталинградская, Каховская ГЭС и др.) имеется только мелкий песок.

Согласно исследованиям ВНИИГа расход цемента в бетоне с мелким песком может быть заметно снижен выполнением следующих мероприятий:

а) добавкой до 50% крупного естественного песка или высевок твердых горных пород;

д) добавлением микронаполнителей, что, однако, сопровождается некоторым снижением прочности;

в) применением цемента повышенной тонкости помола;

г) повышением водоцементного отношения;

д) применением поверхностно-активных добавок, в особенности воздухововлекающих;

е) подбором состава бетонной смеси не по осадке конуса, а по критерию удобообрабатываемости.

Естественный щебень и гравий обладают значительной загрязненностью, поэтому их нужно освободить от вредных примесей (глина, пыль, ил, органические примеси и пр.), т. е. облагородить. При облагораживании заполнителей получаются большие отходы (до 20—30%); чтобы не загружать транспорта и не загромождать строительную площадку отходами, которые придется удалять, облагораживание следует выполнять в карьерах одновременно с сортировкой заполнителей.

Фракционирование заполнителей. Щебень (гравий) и песок должны отвечать установленному проектом гранулометрическому составу, характеризующемуся небольшим объемом пустот и относительно небольшой суммарной поверхностью зерен. Оптимальная смесь должна содержать крупные фракции, но иметь достаточное количество средних и мелких частиц.

Для повышения плотности и однородности бетона, обеспечения оптимального состава заполнителей и соответствия свойств изготовляемого бетона проектному составу применяют фракционирование заполнителей. Принято разделение гравия на две фракции; песок обычно не разделяют на фракции; иногда делят его на две фракции.

На строительстве Сталинградской гидростанции намечалось фракционирование щебня на пять фракций (5—30, 30—50, 50—80, 80—120 и 120—150 *мм*) и песка на две фракции. С этой целью на дробильных заводах было намечено трехступенчатое дробление. Однако в дальнейшем от такой сложной схемы отказались.

По ГОСТ 4797—49 крупный заполнитель рекомендуется делить на следующие фракции:

---

[1] С. И. Зубович. Втапливание камня в бетонную смесь. «Гидротехническое строительство» № 9, 1957.

При $D_{наиб}$ равном 40 *мм*—на 2 фракции 5—20 и 20—40 *мм*
» $D_{наиб}$ » 60 » — » 2 » 5—20 и 20—60 »
» $D_{наиб}$ » 80 » — » 2 » 5—40 и 40—80 » или
» 3 » 5—20, 20—40 и 40—80 *мм*
» $D_{наиб}$ » 150 » — » 3 » 5—40, 40—80 и 80—150 *мм* или
» 4 » 5—20, 20—40, 40—80 и 80—150 *мм*.

Плотность и однородность бетона увеличиваются с числом фракций заполнителей. Практикой установлено, что в пределах каждой фракции отношение крайних размеров должно приближаться к 1 : 2. При предельной крупности щебня в 150 *мм* и соблюдении указанного отношения число фракций крупного заполнителя должно быть равно четырем: 150—80, 80—40, 40—20 и 20—5 *мм*. С увеличением числа фракций с 1 до 4 объем заполнителей возрастает примерно на 15%, расход цемента снижается на 30—35%, а плотность увеличивается с 87 до 91%; одновременно повышается и однородность бетонной смеси[1].

Облагораживание песка снижает его пористость и ведет к повышению плотности и однородности бетона.

Нарушение гранулометрического состава заполнителей сильно влияет на структуру и свойства бетонной смеси; так, при двух фракциях щебня 5—20 и 20—60 *мм*, при объемном дозировании щебня, песка и воды и весовом дозировании цемента подвижность бетона, изготовляемого в бетономешалке емкостью 425 л, изменялась от 2 до 8 *см*.

Многофракционирование связано с осложнением и удорожанием бетонных работ, так как приходится предусматривать отдельные склады для разных фракций как на заготовке, так и у бетонного завода, отдельные бункеры на бетонном заводе, различную тару при перевозках.

Фракционирование широко применяется за рубежом; в США число фракций крупных и мелких заполнителей доходит до 10.

В целях повышения качества заполнителей и удешевления их следует организовать крупные карьеры с полностью механизированной добычей и облагораживанием, а не довольствоваться мелкими карьерами с кустарным оборудованием.

§ 2. КАМНЕДРОБИЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Промышленность изготовляет несколько типов камнедробильных машин (камнедробилок).

Челюстные, или щековые, камнедробилки (рис. 233). В камнедробилках с простым качанием (рис. 233, *а* и *в*) дробление камня происходит при сжатии его между двумя челюстями, одна из которых неподвижна, а другая совершает периодические колебания, то приближаясь к неподвижной щеке, то удаляясь от нее.

Челюстные камнедробилки со сложным качанием (рис. 233, *б*) имеют подвижные щеки, которые, кроме маятниковых, совершают также возвратно-поступательные движения по замкнутой эллипсоидальной кривой. Движение щеки в продольном направлении способствует более быстрому прохождению материала; дробление камня происходит в результате его раздавливания и истирания.

Дробилки первого типа (с простым качанием) имеют весьма надежную конструкцию и широко распространены в моделях небольшой производительности. Дробилки второго типа (со сложным качанием) дают меньшее количество лещадок по сравнению с челюстными дробилками с простым качанием.

Кроме указанных щековых дробилок, применяемых как для первичного, так и для вторичного дробления, наша промышленность выпускает также крупные щековые дробилки для крупного первичного дробления твердых

[1] В. А. Бархатов. Внедрять в гидротехническое строительство бетон с малым содержанием цемента. «Гидротехническое строительство» № 2, 1958.

пород с загрузочными отверстиями 900×1200, 1200×1500 и 1500×2100 *мм*; вес их соответственно равен 60, 138 и 211,5 *т*, а мощность электродвигателей 110, 175 и 300 *квт*.

Конические дробилки (рис. 233, *г* и *д*). В них камень дробится поверхностями двух усеченных конусов, одна из которых (внешняя) неподвижна и опирается на стенки дробилки, а другая (внутренняя) совершает эксцентричное вращение (рис. 233, *г*). При этом в одном полуобороте кольцевого пространства происходит дробление камня, а в другом—передвижение вниз раздробленного материала и выпуск его через лоток. Таким образом, вместо

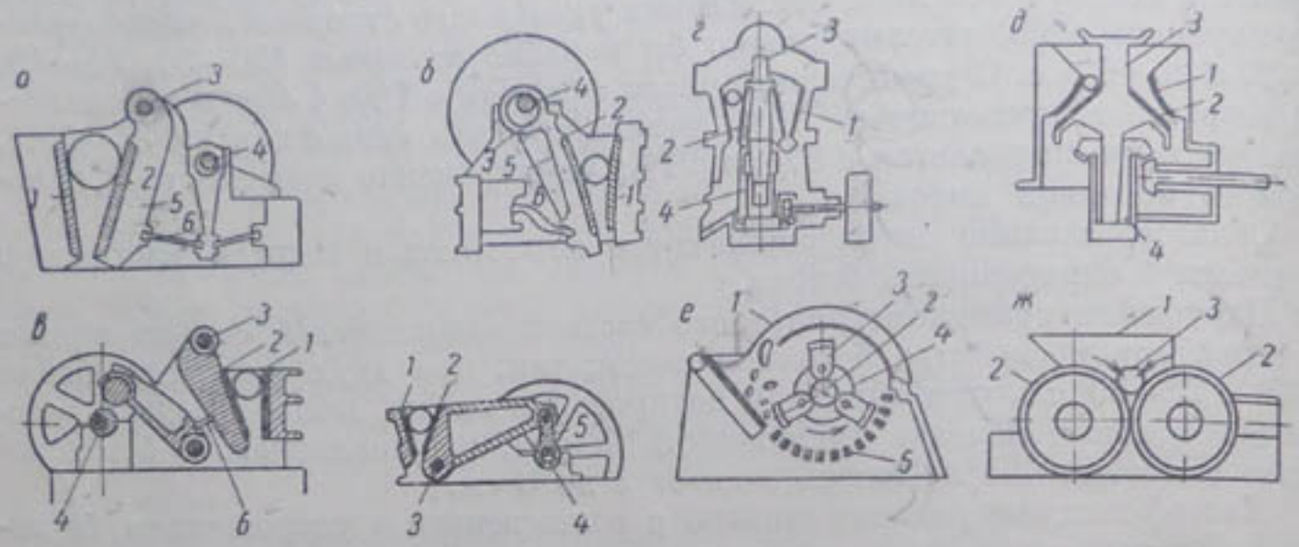


Рис. 233. Схемы камнедробильных машин:

а—щековая дробилка с простым качанием и коленчатым механизмом. *б*—щековая дробилка со сложным качанием. *в*—щековая дробилка с простым качанием и кулачковым механизмом: *1* и *2*—неподвижная и подвижная щеки; *3*—ось вращения челюсти *5*; *4*—главный эксцентриковый вал дробилки; *6*—сухари, ломающиеся при попадании материала чрезмерной прочности. *г*—коническая дробилка с крутым наклоном дробящих конусов. *д*—коническая дробилка с пологим наклоном дробящих поверхностей: *1*—внешний полый неподвижный конус; *2*—внутренний конус, вращающийся вместе с валом *3*, к которому он прикреплен; *4*—вращающийся эксцентриковый стакан, в котором укреплен конец вала *3*. *е*—молотковая дробилка: *1*—приемная воронка; *2* вращающийся вал; *3*—кулачки, шарнирно прикрепленные к диску *4*, насаженному на вал *2*; *5*—выходное отверстие. *ж*—валковая дробилка: *1*—приемная воронка; *2*—вращающиеся валики; *3*—дробимый материал.

периодического дробления, происходящего в результате возвратно-поступательного движения шатуна с толчками и ударами при переменах направления движения, как это имеет место в челюстных дробилках, дробление материала происходит непрерывно, без толчков и ударов, не только сжатием, но и изломом камня.

Дробящее пространство представляет собой узкую, сходящуюся щель, благодаря чему дробимый материал не успевает во время одного оборота пройти через дробящее пространство и подвергается вторичному дроблению при следующем обороте; этим достигается хорошее дробление материала.

Дробилка имеет опорное кольцо, связанное со станиной регулирую-щими пружинами; в случае попадания в рабочее пространство недробимых материалов опорное кольцо может приподняться, что предупреждает поломку дробилки.

Конусные камнедробилки делятся на три типа: а) с подвижной вертикальной осью; б) с неподвижной вертикальной осью и в) грибовидные с консольной осью.

Наша промышленность выпускает дробилки, рассчитанные на переработку материалов с размерами от 75 до 350 *мм*, с электродвигателями мощностью от 40 до 300 *квт* (СМ-66, КСД-900, КСД-1200 и др.).

Достоинствами конических дробилок по сравнению с челюстными являются: 1) лучшая форма дробленого материала, близкая к кубику или орешку, более равномерная по размерам и количеству пыли; 2) значительно бо́льшая (в $1^1/_2$—2 раза) производительность дробилок при одинаковых размерах отвер-

стий благодаря непрерывности их работы; 3) значительно меньший (в $1^1/_2$—2 раза) расход энергии, так как не приходится ставить тяжелых маховиков для преодоления инерции при возвратно-поступательном движении; 4) менее солидные фундаменты, благодаря более спокойной работе конических дробилок.

К недостаткам конических дробилок относятся: 1) бóльшая высота их, что ведет к увеличению высоты здания, а также высоты подъема камня при загрузке; 2) меньшие размеры загружаемого камня при одинаковой производительности обоих типов дробилок; 3) небольшие пределы регулировки выпускных отверстий; 4) затруднительность доступа для ухода и смазки ведущей шестерни, находящейся под выпускным желобом.

Молотковые дробилки (рис. 233, *е*) применяются для мелкого дробления нетвердых материалов (шлак, известняк). Дробление производится ударами быстро вращающихся шарнирных молотков; производительность дробилок С-218, С-18, СМ-19 от 6 до 54 *т/час*.

Валковые дробилки (рис. 233, *ж*). В них камни раздробляются между двумя вращающимися в разные стороны валками, один из которых вращается в неподвижных подшипниках, а второй в подвижных; благодаря этому можно изменять размер щели между цилиндрами. Они применяются для мелкого дробления камня и приготовления искусственного песка из твердых пород.

Валковая дробилка СМ-12 имеет валки диаметром 610 *мм*; наибольший размер поступающего материала 85 *мм*; электродвигатель мощностью 28 *квт*; вес дробилки без электродвигателя 3,4 *т*. Производительность в зависимости от ширины щели (10 ÷ 30 *мм*) составляет от 10 до 27 $м^3/час$.

Более мощная камнедробилка СМ-201 может дробить загружаемые куски размером 180 *мм*; ее производительность 17—165 $м^3/час$; вес—11,8 *т*; электродвигатель мощностью 55 *квт*.

§ 3. ЗАГРУЗКА КАМНЯ В ДРОБИЛКИ

Каменный материал к дробилке нужно доставлять равномерно, по путям, расположенным выше дробилки. Для этого применяют питатели. Простейшим из них, не обеспечивающим, однако, точной дозировки, является ящичный питатель (рис. 234, *а*). Разгружаемый камень поступает в приемочный ящик *1*; размеры его выбирают таким образом, чтобы конец откоса, под которым камень ложится в ящик, подходил к загрузочному отверстию дробилки. Находящийся в ящике камень предохраняет дно от удара падающих камней; камень, лежащий выше откоса, медленно сползает в загрузочное отверстие дробилки.

Большое распространение на дробильно-сортировочных установках получили пластинчатые питатели (рис. 234, *б*); они применяются преимущественно при подаче крупных каменных материалов размером до 400 *мм*; производительность их от 10 до 1000 $м^3/час$. Они обеспечивают надежную выгрузку материала из бункера *4*, равномерное питание, дают минимальное крошение, отличаются простотой конструкции и эксплуатационной надежностью. Несущим органом питателя является настил из стальных пластин *3*, перекрывающих одна другую и жестко связанных цепями. Цепи поддерживаются роликами, установленными на раме. Скорость ленты питателя от 0,02 до 0,25 *м/сек*.

Чтобы избежать измельчения материала, следует выбирать волнистый профиль пластин.

Наша промышленность серийно выпускает пластинчатые питатели СМ-97 и СМ-59 производительностью при горизонтальном положении 24—50 и 60—150 *т/час*. Длина питателей 7 и 3,6 *м*, рабочая ширина пластин 0,8 и 1 *м*, электродвигатели мощностью 3,4—3,5 *квт*; вес питателей около 9 *т*.

Качающиеся каретные питатели (рис. 234, *в*) применяются для подачи мелких и крупных хорошо сыпучих материалов и имеют производительность от 10 до 300 $м^3/час$. Под выпускным отверстием бункера *1* находится стол *2*

с бортами, приводимый в поступательно-возвратное движение кривошипным механизмом *3*. При переднем ходе стол переносит вперед материал и разгружает его в выпускное отверстие; взамен его из бункера поступает новая порция. При обратном ходе стола материал упирается в заднюю стенку и часть его высыпается через переднюю кромку стола.

Цепные питатели (рис. 234, *г*) применяют для подачи твердого материала крупностью 150—800 *мм*; производительность их 1,5—6 *м*³/*час*. Свободно висящие бесконечные цепи *3* подвешены к барабану *2*, вращаемому от двигателя.

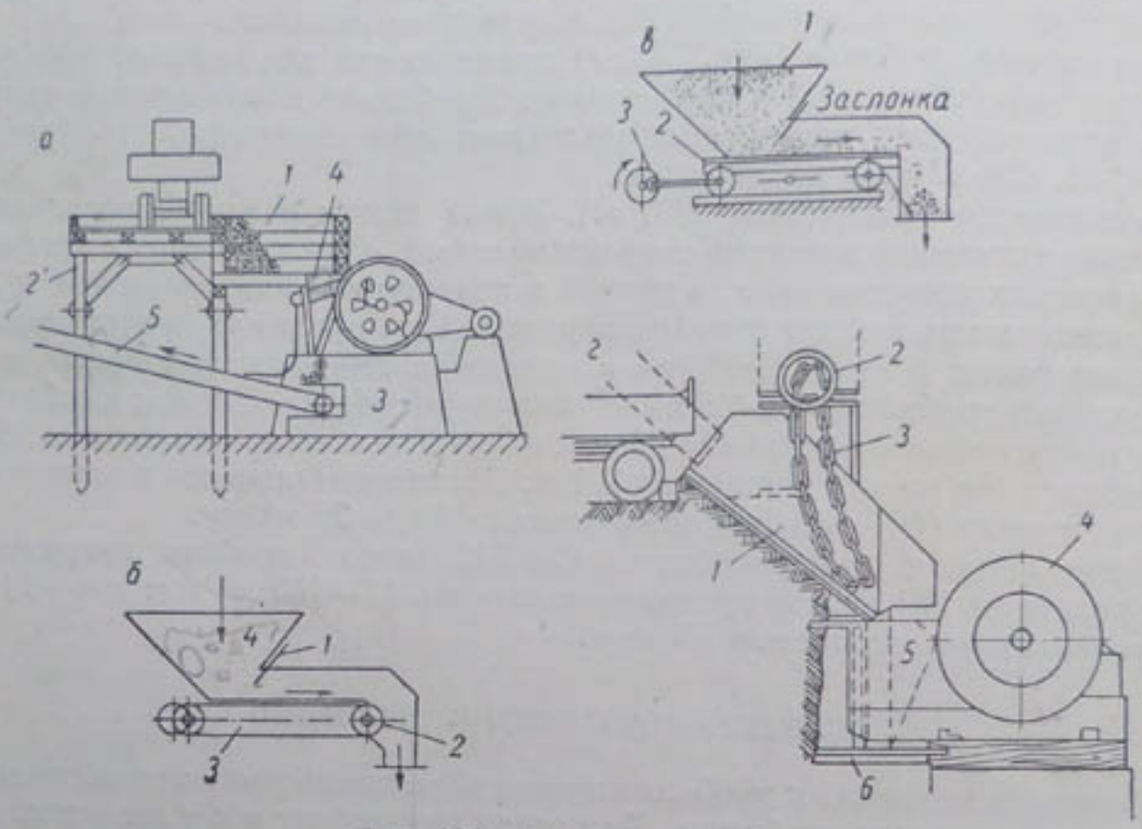


Рис. 234. Типы питателей:

а—я щ и ч н ы й: *1*—ящик; *2*—эстакада; *3*—фундамент дробилки; *4*—загрузочная воронка; *5*—транспортер. *б*—п л а с т и н ч а т ы й: *1*—затвор; *2*—ведущий барабан; *3*—лента из стальных пластин; *4*—приемная воронка. *в*—к а ч а ю щ и й с я: *1*—приемная воронка; *2*—стол с бортами, приводимый в возвратно-поступательное движение кривошипным механизмом *3*. *г*—ц е п н о й: *1*—лоток для спуска камня в дробилку; *2*—ведущий барабан; *3*—цепи; *4*—дробилка; *5*—дробящее устройство; *6*—заслонка.

Фундаменты под челюстные дробилки, работа которых связана с колебаниями и вибрациями, должны быть достаточно массивными и устраиваться отдельно от соседних конструкций. Вес фундамента должен в три раза превышать вес челюстной дробилки и в два раза—вес конической дробилки, перерабатывающей более спокойно. Для дробилок небольшой производительности делают фундаменты из ряжей, заполняемых камнем, а для более мощных—каменные или бетонные фундаменты. Для отвода раздробленного камня в фундаментах делают отверстия и отводящий канал с уклоном не менее 50°. Кроме того, в фундаментах оставляют проемы для возможности осмотра и ремонта дробилок.

§ 4. СОРТИРОВКА И ПРОМЫВКА ГРАВИЯ И ЩЕБНЯ

Для сортировки гравия и щебня применяют: а) барабанные грохоты, в которых просеивание материала осуществляется вращением дырчатого барабана; б) плоские качающиеся грохоты с принудительными круговыми качаниями в вертикальной плоскости; в) плоские вибрационные грохоты.

Барабанные грохоты состоят из нескольких секций—сит с отверстиями разных диаметров, обычно трех; самые мелкие отверстия находятся у приемного конца; размер отверстия увеличивается к выходному концу (рис. 235).

Грохот устанавливают под углом 5—7° к горизонту в сторону выходного отверстия. Материал постепенно передвигается к выходному концу, одновременно несколько поднимаясь вследствие вращения грохота и затем соскальзывая вниз (винтовое движение).

Длина барабана и каждой его секции определяет качество сортировки, поэтому барабаны получаются длинными и громоздкими. Сверхмерный материал, не проходящий через самую крупную сетку, удаляется из грохота через торцовое отверстие.

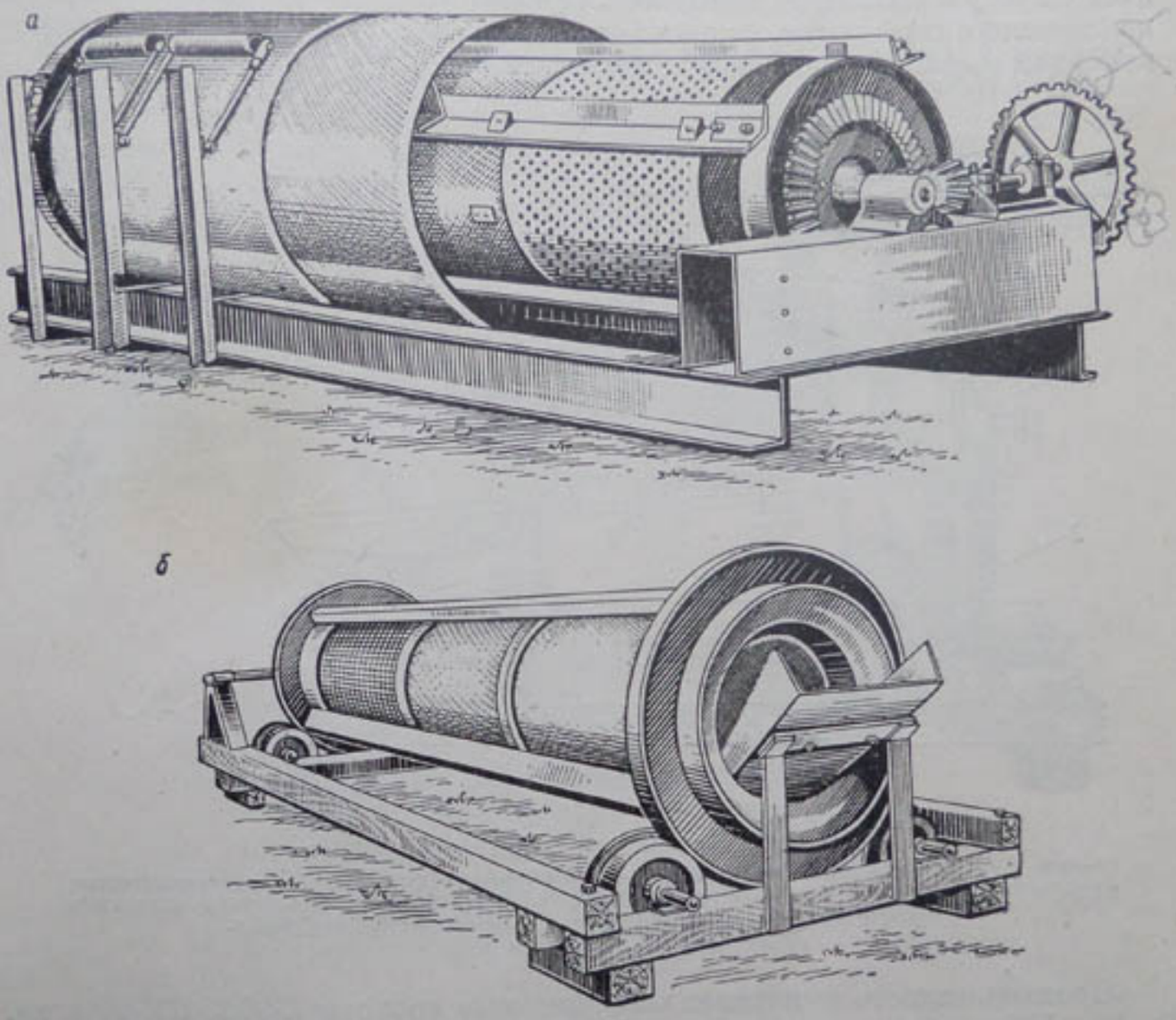


Рис. 235. Барабанные грохоты:
а—с ведущей осью, расположенной внутри цилиндра; *б*—с приводными опорными роликами.

Если материал не сильно загрязнен, то гравий и песок можно очищать на обычных грохотах с подачей воды по трубам через мелкие отверстия с равномерным разбрызгиванием ее по всей площади сит грохота. Для промывки сильно загрязненного материала, покрытого глиной или содержащего глину, применяют специальные моечные барабаны.

Промышленность изготовляет барабанные гравиесортировки С-244 для сухой сортировки, производительностью 9—11 *м*³/*час*, а также С-213 и С-215, производительностью 9—11 и 37—45 *м*³/*час*, которые производят одновременно и промывку.

В барабанном грохоте работает только нижняя часть просеивающей поверхности (около $^1/_6$), в результате чего их производительность меньше, чем плоских грохотов. Кроме того, они более громоздки и металлоемки и поэтому вытесняются более совершенными вибрационными грохотами.

Барабанные грохоты приводятся во вращение от ведущей оси, помещенной внутри цилиндра (рис. 235, *а*) или от приводных роликов (рис. 235, *б*).

Плоский вибрационный грохот (рис. 236) состоит из двух или трех плоских сит *1*, присоединенных к вибрирующей раме; источником вибрации являются эксцентричные грузы на концах вала (дебалансы). Частота колебаний 1200—1500 в минуту, амплитуда вибраций 1,5—5 *мм*. Вибрирующие сита *1* подвешены к раме либо на рессорных *3*, либо на пружинных опорах. Частые и разнонаправленные вибрационные колебания заставляют материал подпрыгивать на сите и проходить через его отверстия. Путем смены приводных шкивов и изменения величины эксцентриситета дебалансов можно изменять частоту и амплитуду колебаний. Предварительная промывка материала, подлежащего сортировке, от легко отделимых примесей (песок) производится напорной водой *8*, подаваемой к приемочному отверстию.

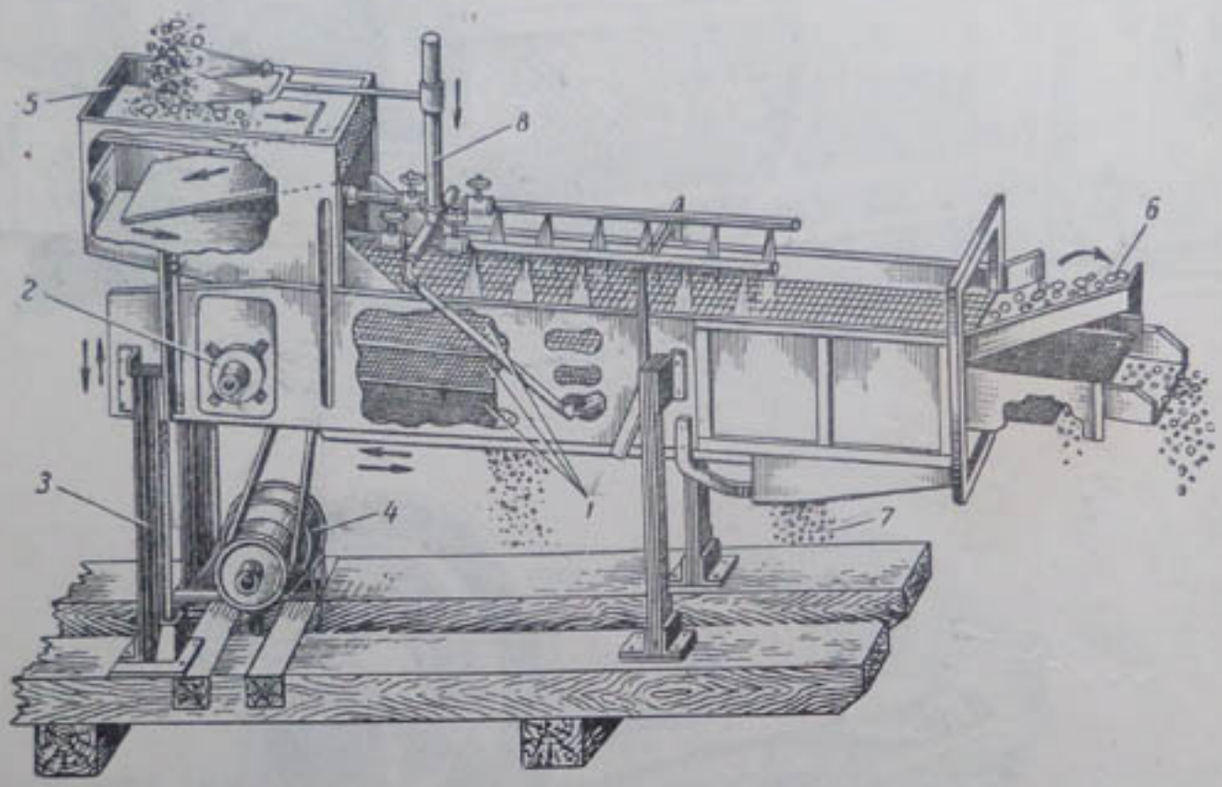


Рис. 236. Плоский вибрационный грохот:
1—сита; *2*—вибрационный механизм; *3*—металлические рессоры; *4*—электродвигатель; *5*—приемка материала; *6*—отход крупного материала; *7* выход промытого материала, разделенного по крупности на фракции; *8*—подача воды.

Промышленность выпускает вибрационные грохоты С-96А, СМ-60 и др. Грохот С-96А, обладающий хорошими эксплуатационными качествами, имеет три сита площадью 750×2000 *мм* с квадратными отверстиями размерами 60, 22 и 8 *мм*; сито с самыми крупными ячейками располагается над другими ситами. Сита установлены под углом 17—22° к горизонту. Число колебаний 1500 в минуту; амплитуда колебаний 4 *мм*. Вес вибрационного грохота 1100 *кг*; мощность электродвигателя 3,2 *квт*; производительность 13—16 $м^3/час$.

Вибрационные грохоты представляют собой наиболее эффективные сортировочные машины, вытесняющие цилиндрические грохоты. К их преимуществам относятся:

1) почти полное использование поверхности сита, в то время, как во вращающихся грохотах она используется лишь на 20—25%. Благодаря этому мощность электродвигателей вибрационных грохотов меньше, чем в барабанных гравиесортировках;

2) лучшее качество просеивания, так как проекции сеток в вибрационных грохотах на горизонтальную плоскость одинаковы, тогда как в цилиндрических грохотах они изменяются в разных частях цилиндрической поверхности грохота;

3) эффективность плоских вибрационных грохотов доходит до 90—95% против 60—75% у вращающихся (эффективностью грохота, или его к.п.д.,

называют отношение веса нижнего класса гравия, полученного при грохочении, к полному весу этого класса в исходном материале);

4) изготовление сетки квадратной формы из проволоки проще, чем перфорирование отверстий в барабанных грохотах; проще и смена сетки;

5) благодаря меньшим размерам плоских вибрационных грохотов, оборудованный ими сортировочный завод имеет меньший объем, чем завод с вращающимися грохотами.

§ 5. ПЕСКОМОЙКИ

Загрязненный песок промывают в винтовых (шнековых) и драговых пескомойках. В винтовой мойке (рис. 237) барабан устанавливается с подъемом 10—12° в сторону разгрузки, а материал передвигается двумя шнеками, вращающимися в разные стороны и установленными внутри барабана. Между лопастями и стенками барабана имеется зазор для прохождения промывной воды, двигающейся навстречу промываемому материалу. Перебрасывание

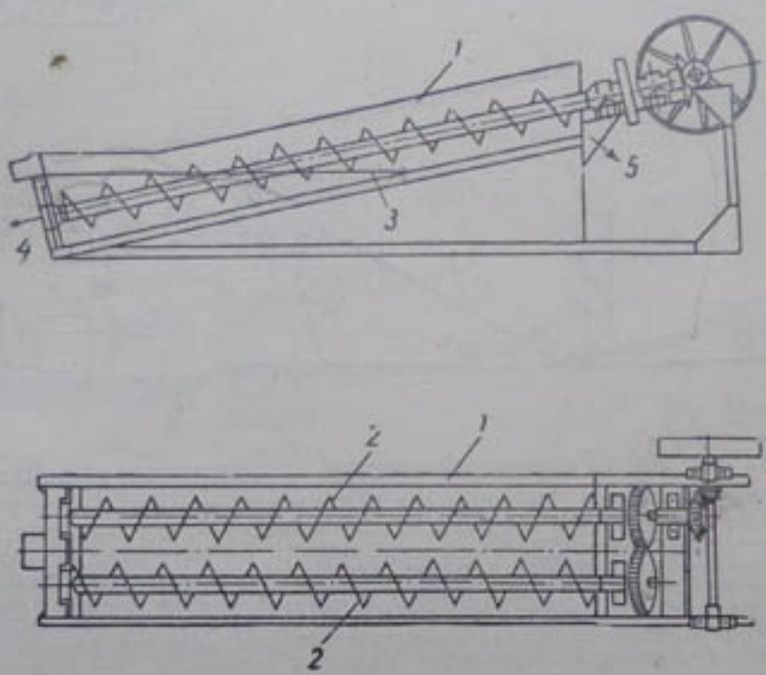


Рис. 237. Винтовая двойная песчаная мойка:
1—наклонный барабан; *2*—шнеки; *3*—уровень воды в нижнем конце барабана; *4*—сток грязной воды; *5*—выход чистого песка.

материала лопастями навстречу движущейся воде способствует его перемешиванию в процессе промывки и позволяет добиться хорошей промывки даже сильно загрязненного материала.

Расход воды в шнековых пескомойках изменяется от 2 до 5 $м^3$ на 1 $м^3$ материала, в зависимости от степени загрязненности песка.

В драговой пескомойке С-216 очистка песка от глины производится движущейся в металлическом корыте пластинчатой цепью, состоящей из двух рядов шарнирно соединенных между собой пластин. Пластины имеют прорези, в которые вставлены перемешивающие стальные лопатки. Промывная вода движется навстречу песку. Производительность 20 $м^3/час$, расход воды 60—120 $м^3/час$.

Гидромеханическое обогащение гравия получило в последнее время широкое распространение. Первые крупные работы в этом направлении были сделаны на строительстве канала имени Москвы.

Особенность гидромеханического обогащения гравия заключается в том, что оно органически связано с добычей и гидротранспортом гравия.[1]

---

[1] Б. М. Шкундин. **Гидромеханизация в строительстве.** Машстройиздат М., 1949.

Схема добычи и обогащения гравия в одном из карьеров строительства канала имени Москвы изображена на рисунке 238, *а*.

Забой *1* разрабатывался гидромониторами *2*, а размытая порода по лоткам *3* с уклоном 4,5% поступала к обогатительному устройству; одна из четырех ниток лотков была резервной. В пути материал проходил через колосниковый неподвижный грохот *4*, служивший для отделения гравия крупнее 80 *мм*; грохот в конце имел уклон 12%, обеспечивавший скатывание крупного камня в бункер *5*, из которого он поступал на вагонетки *6*, отвозившие крупный камень в отвал. Прошедшая через колосниковый грохот пульпа

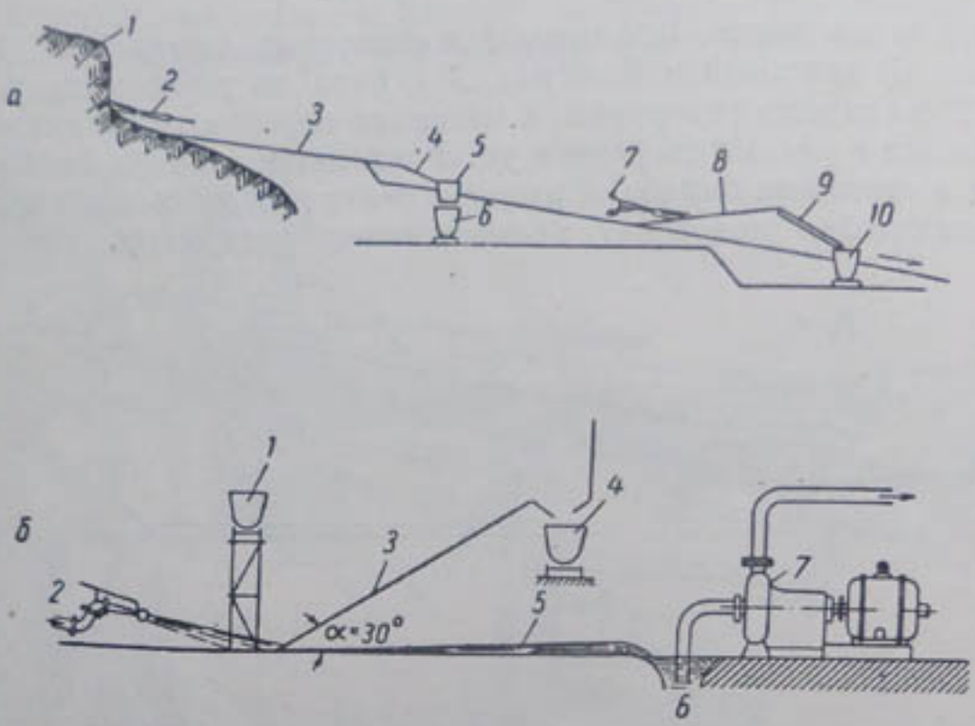


Рис. 238. Гидромеханическое обогащение гравия:

а—разработка и обогащение гравия гидромеханическим способом: *1*—забой; *2*—гидромонитор; *3*—лоток; *4*—грохот; *5*—бункер; *6*—вагонетки; *7*—монитор; *8*—наклонная решетка; *9*—качающийся грохот; *10* вагонетки. *б*—гидромеханическое обогащение породы с 20% гравия, разработанного экскаватором: *1*—вагонетки; *2*—гидромонитор; *3*—наклонная решетка; *4*—вагонетки для отвозки промытого гравия; *5*—лоток; *6*—приемный колодец землесоса; *7*—землесос.

поступала на наклонную решетку *8* с отверстиями 5 *мм*. Здесь гравий промывался монитором «Гидроторф» *7* и проталкивался струей воды к качающемуся грохоту *9*; пройдя последний, чистый гравий отвозился вагонетками *10* в отвал.

Для обогащения гравия применяют также частичную гидромеханизацию, когда песчано-гравийная масса добывается экскаваторами, а обогащается гидромеханическим способом. Схема такой установки, применявшаяся на строительстве канала имени Москвы, представлена на рисунке 238, *б*.

Порода, содержавшая около 20% гравия, разрабатывалась экскаватором и доставлялась к обогатительной установке вагонетками *1*; затем она подвергалась воздействию гидромониторов *2*, которые очищали гравий и проталкивали его по наклонной решетке, установленной под углом 30° с отверстиями 5 *мм*, длиной 10 *м*; готовая продукция отвозилась на склад. Прошедшая через решетку пульпа отводилась по лотку *5* с уклоном 4% в приемный колодец *6* землесоса *7* и транспортировалась в отвалы.

§ 6. КАМНЕДРОБИЛЬНО- И ПРОМЫВОЧНО-СОРТИРОВОЧНЫЕ ЗАВОДЫ

Камнедробильно-сортировочные заводы. Оптимальное отношение размеров входного и выходного отверстий дробилок изменяется от 6 : 1 до 8 : 1; при увеличении этого отношения снижается производительность дробилок,

увеличивается расход энергии и количество отходов. Поэтому для получения щебня требуемых для бетона размеров нередко приходится прибегать к многоступенчатому дроблению, причем число ступеней доходит до трех, а иногда и до четырех.

Первичное дробление обычно производят в челюстных дробилках, а последующие—в конических.

При четырех ступенях дробления на последней иногда добывается искусственный песок, как это было, например, на Днепрострое; для этого ставят валковые дробилки.

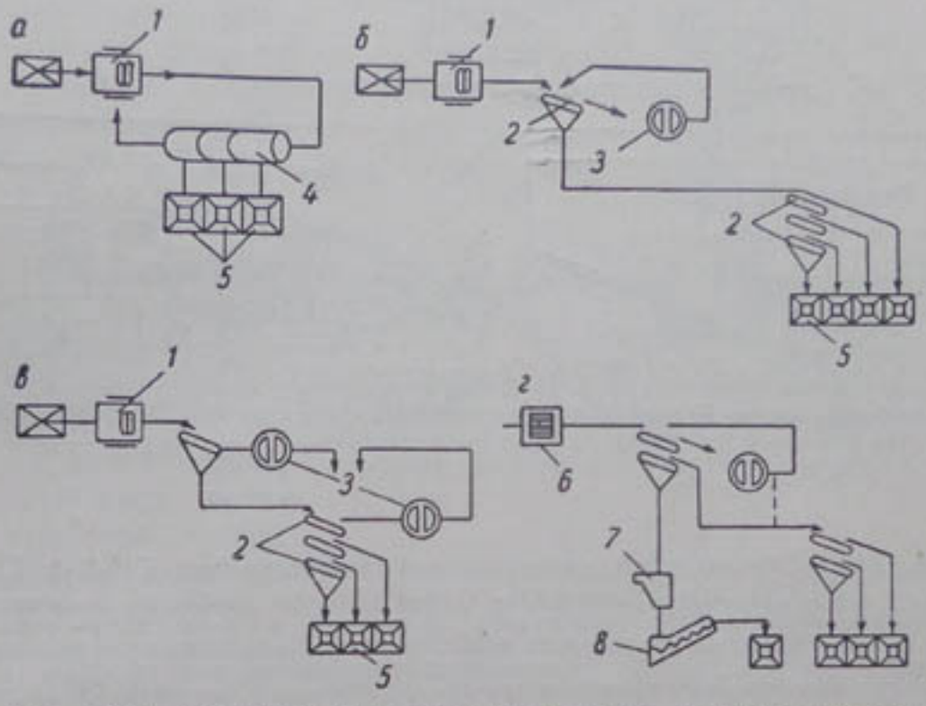


Рис. 239. Камнедробильно-сортировочные и промывочно-сортировочные заводы:

а—одноступенчатая схема камнедробильного завода; *б*—двухступенчатая схема; *в*—трехступенчатая схема; *г*—схема промывочно-сортировочного завода; *1*—челюстная дробилка; *2*—виброгрохот; *3*—коническая дробилка; *4*—барабанный грохот; *5*—бункеры; *6*—бункер с колосниковой решеткой; *7*—отстойный бак; *8*—пескомойка.

Одноступенчатая схема (рис. 239, *а*) часто применяется в небольших по мощности установках. Материал, прошедший через сита грохота, рассортировывается по бункерам, а крупный материал возвращается в дробилку для повторного дробления. Применение этой схемы целесообразно при дроблении некрупных камней.

Двухступенчатая схема (рис. 239, *б*) целесообразна на заводах средней мощности (начиная с 30—40 *т/час*) для дробления камня средней крупности.

Трехступенчатая схема (рис. 239, *в*) применяется на крупных предприятиях производительностью 700—1000 *т/час* для дробления крупного камня. В первичной, челюстной, дробилке дробят камень до размеров 200—300 *мм*, на второй ступени, в конической дробилке—до 80—100 *мм* и на третьей—до 50 *мм* и менее. Если нужно получать искусственный песок, то на второй ступени производят более мелкое дробление, а на третьей ступени ставят валковые дробилки.

Промывочно-сортировочные заводы. На заводах для облагораживания гравия чаще всего применяется одноступенчатая схема (рис. 239, *г*). Для сортировки в последние годы применяют преимущественно плоские вибрационные грохоты. Если позволяют топографические условия, то целесообразно устраивать завод на склоне; в этом случае материал, доставленный на высокую точку склона для дробления, двигается в дальнейшем вниз под действием силы тяжести.

Передвижные установки применяют иногда для заготовки щебня. Такая установка производительностью 30 *т/час* показана на рисунке 240. Она

состоит из двух агрегатов; первый из них (СМ-8) производит в щековой дробилке первичное дробление камня крупностью до 300—500 *мм* в щебень; крупность щебня зависит от регулируемой ширины выпускной щели.

Второй агрегат (СМ-9) производит дробление в валковой дробилке камня с наибольшим размером 85 *мм* и рассортировывает полученный щебень

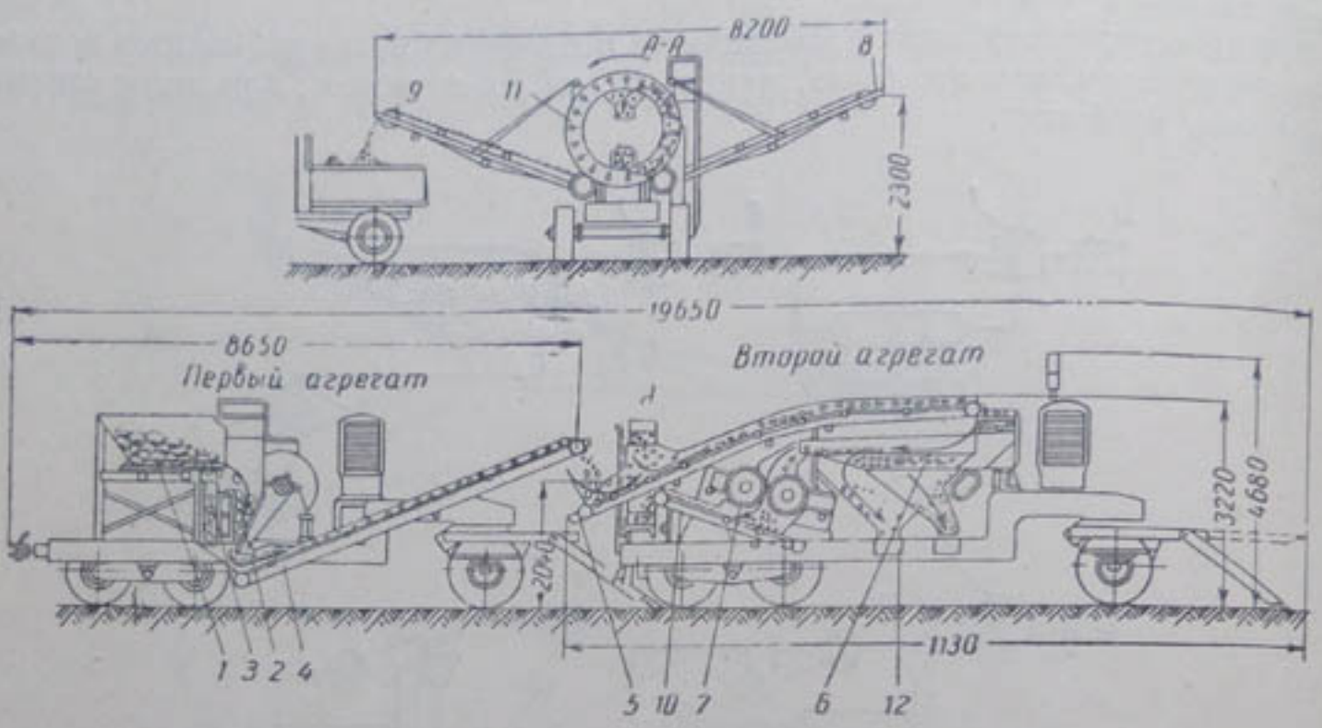


Рис. 240. Передвижная камнедробильная установка СМ-8 и СМ-9:
первый агрегат: *1*—бункер-питатель; *2*—зев щековой дробилки; *3*—отводный желоб для мелкого материала; *4*—ленточный транспортер; второй агрегат: *5*—верхний ленточный транспортер; *6*—вибрационный горизонтальный грохот; *7*—валковая дробилка; *8*—ленточный транспортер для выгрузки мелочи; *9*—ленточный транспортер для выгрузки делового щебня; *10*—нижний ленточный транспортер; *11*—ротационный элеватор; *12*—бункер.

на вибрационном грохоте на две фракции: до 5 *мм* и от 5 до 30 *мм*. Каждый агрегат имеет самостоятельный двигатель внутреннего сгорания мощностью 80 *л. с.* и смонтирован на отдельных тележках. Оба агрегата могут быть использованы как совместно, так и независимо друг от друга.

§ 7. СКЛАДЫ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ

Для бесперебойной работы бетонных заводов и установок необходим некоторый запас заполнителей и цемента как на случай задержек в добыче и подвозке их, так и для обеспечения равномерности работы бетонного завода.

Стоимость складов заполнителей и операций на них составляет значительный процент стоимости бетонного завода; эксплуатационные затраты на складские процессы доходят до 55—65% общей стоимости приготовления бетонной смеси.

Различают склады перевалочные, базисные (запасные) и приобъектные (оперативные).

Опыт бесперебойной работы большинства складов заполнителей Волгостроя с запасами на 15—20 дней показал, что не нужно повышать запасы сверх указанных, если к бетонному заводу примыкает железнодорожный путь.

На строительстве Верхне-Свирской гидростанции склад заполнителей имел только пятичасовой запас; перебоев в работе не было, так как дробильно-сортировочный завод находился на расстоянии 2,5 *км* от бетонного завода и был соединен с ним железнодорожным путем.

На строительстве Куйбышевской, Сталинградской и Каховской гидростанции склады заполнителей были приняты в пределах 15—30-дневной потребности[1].

[1] Г. Г. Зеличенок. Механизированные и автоматизированные бетонные заводы. Госстройиздат, 1954.

Емкость складов рассчитывается по суточному потреблению и принятым нормам запаса.

Щебень и гравий нередко заготовляют на расстоянии нескольких десятков и даже сотен километров от стройки; доставка их в подобных случаях производится по железной дороге, канатной дороге (Яблоновый овраг Куйбышевгидростроя), а иногда водным транспортом; в последнем случае емкость складов увеличивается. При небольшом расстоянии до карьера гравий можно доставлять ленточными транспортерами или автомашинами.

Песок заготавливают обычно на расстоянии до 5—10 *км* и доставляют либо автомашинами, либо по железной дороге узкой или широкой колеи.

Склады заполнителей бывают открытыми и закрытыми. Открытые склады устраиваются линейно-протяженными и секторными.

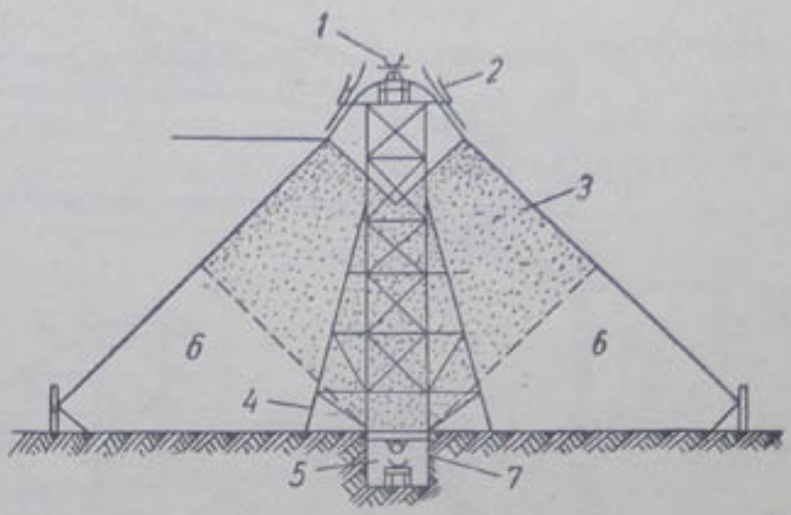


Рис. 241. Линейно-протяженный склад:

1—ленточный транспортер; *2*—лоток; *3*—зона подачи материала самотеком; *4*—эстакада; *5*—ленточный транспортер, отвозящий материал; *6*—мертвая зона (резерв); *7*—туннель (траншея).

Линейно-протяженные склады (рис. 241) имеют эстакаду *4*, на которую гравий (щебень) подается ленточными транспортерами *1* и сбрасывается вниз сбрасывающей тележкой по лоткам *2* на настил из досок или горбылей.

Под эстакадой устанавливаются поперечные щиты с целью образования отсеков для различных фракций. Под складом размещен туннель *7* (траншея), в котором проходит ленточный транспортер *5* для выдачи заполнителей; в верхней части туннель имеет ряд отверстий, закрываемых затворами.

Линейно-протяженные склады с ленточными транспортерами просты, надежны, экономичны и в последнее время часто применяются. Недостаток этих складов состоит в наличии мертвых зон *6*, из которых материал не может попасть самотеком на нижний транспортер.

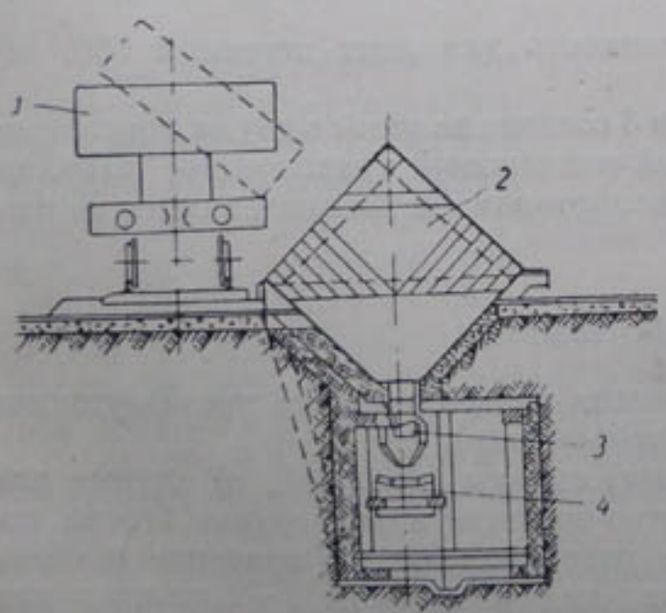


Рис. 242. Крытые приемные устройства с траншейными транспортерами:

1—вагон с опрокидным кузовом; *2*—крытый полубункерный склад; *3*—лотковый затвор; *4*—траншейный ленточный транспортер.

Секторные склады организуют в составе сортировочных заводов. Доставляемую карьерную смесь складируют на территории в штабеля. Отсюда она поступает на сортировочный завод и далее в склады промытого гравия по фракциям. Растаскивание загруженной карьерной смеси по первой части склада и затем подача смеси на сортировочный завод производится канатными скреперами. На складах промытого материала также устанавливают канатные скреперы, растаскивающие рассортированный гравий по фракциям. Отдельные фракционные склады имеют в плане очертания секторов, поэтому они и называются секторными.

В зимних условиях применяют иногда склады закрытого типа (рис. 242).

В последние годы получили распространение штабельные склады, образующиеся при помощи двухконсольных штабелеукладчиков (рис. 243);

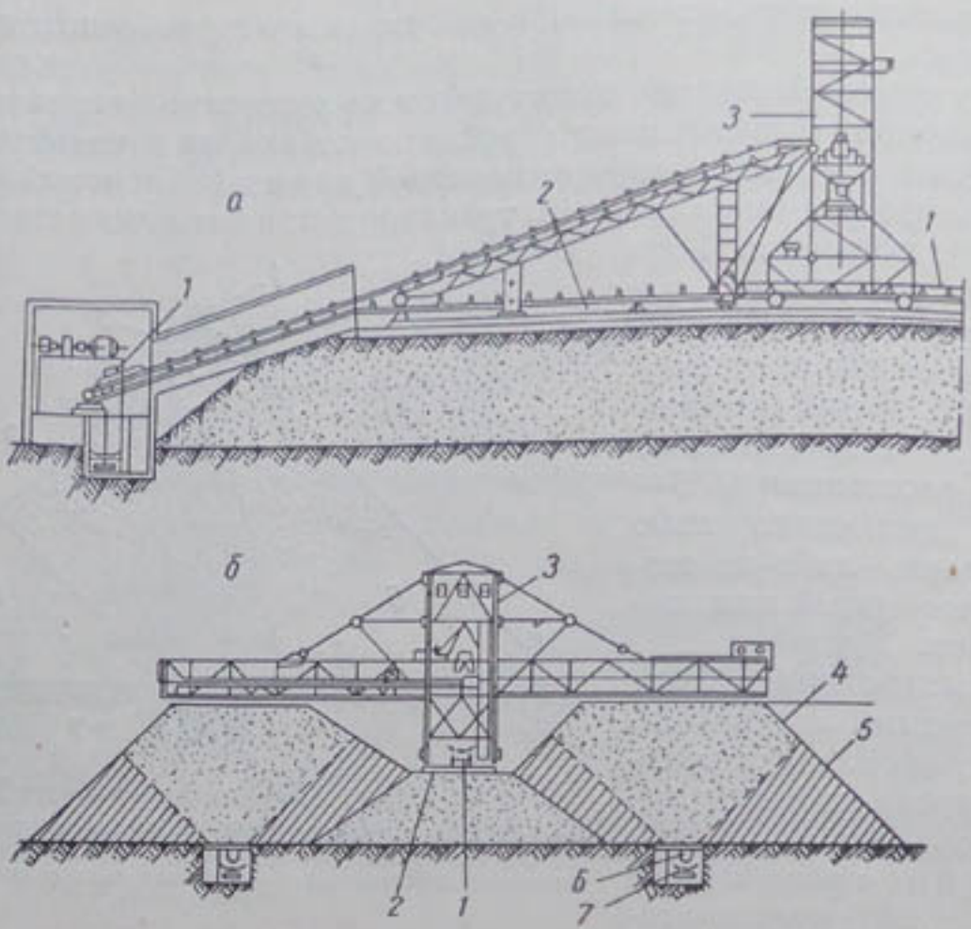


Рис. 243. Двухконсольный штабелеукладчик:

а—вид сбоку: *1*—ленточный транспортер подачи на склад; *2*—пути штабелеукладчика; *3*—штабелеукладчик. *б*—резерв склада с двухконсольным штабелеукладчиком: *1*—ленточный транспортер подачи на склад; *2*—пути штабелеукладчика; *3*—штабелеукладчик; *4*—самообрушивающаяся часть штабеля; *5*—несамообрушивающаяся часть штабеля; *6*—лотковый затвор; *7*—траншейный ленточный транспортер.

последние выпускает наша промышленность для лент шириной 650, 800 и 1000 *мм* с консолями до 17,5 *м*.

Двухконсольный штабелеукладчик *3* состоит из рамы с двумя консолями, по которым передвигается реверсивный челноковый транспортер; заполнители подаются на склад ленточным транспортером *1* и распределяются по площади склада штабелеукладчиком *3*.

§ 8. СКЛАДЫ ЦЕМЕНТА

По своему назначению склады цемента разделяются на промежуточные (приемные), базисные и расходные (приобъектные).

Промежуточные (приемные) склады (рис. 244, *а*) служат для приемки поступающего на строительство цемента и перегрузки его на по- и вместимость их обычно принимают равной емкости 1—2 поездов или барж.

Базисные склады предназначаются для создания запаса цемента.

Расходные (приобъектные) склады предназначаются для кратковременного хранения цемента у мест его потребления.

При компоновке приемных бункеров в едином комплексе с силосами (склад Цимлянского гидроузла, прирельсовые склады на строительстве Волжской ГЭС имени В. И. Ленина) приемные и базисные склады по существу объединяются в один объект.

Запасы цемента в центральной группе бетонных заводов Цимлянского гидроузла для двух автоматизированных заводов были рассчитаны на 13 дней.

Бункерный склад цемента на двух механизированных заводах того же гидроузла обеспечивал трех- и семисуточный запасы, что, однако, не обеспечивало бесперебойного снабжения этих заводов цементами потребных марок[1].

Г. Д. Петров указывает, что при железнодорожном транспорте запасы цемента в складах при бетонных заводах изменятся от 350 до 1200 *т* на 1000 л установленных бетономешалок, а запасы цемента в бункерах заводов предусматривают обеспечение их работы на 1,5—8 часов.

Стоимость цементных складов довольно значительна, поэтому число, емкость и тип складов следует тщательно обосновывать.

В конструкции цементных складов должны учитываться особенности цементов: чувствительность к влаге, предрасположенность к самоуплотнению и распылению, недопустимость смешивания разных сортов цемента из-за изменения их свойств и даже порчи. При доставке цемента в таре необходимо предусмотреть в складах помещения для распаковки. В складах должны предусматриваться помещения для отделения от цемента бумаги, щепы, металла.

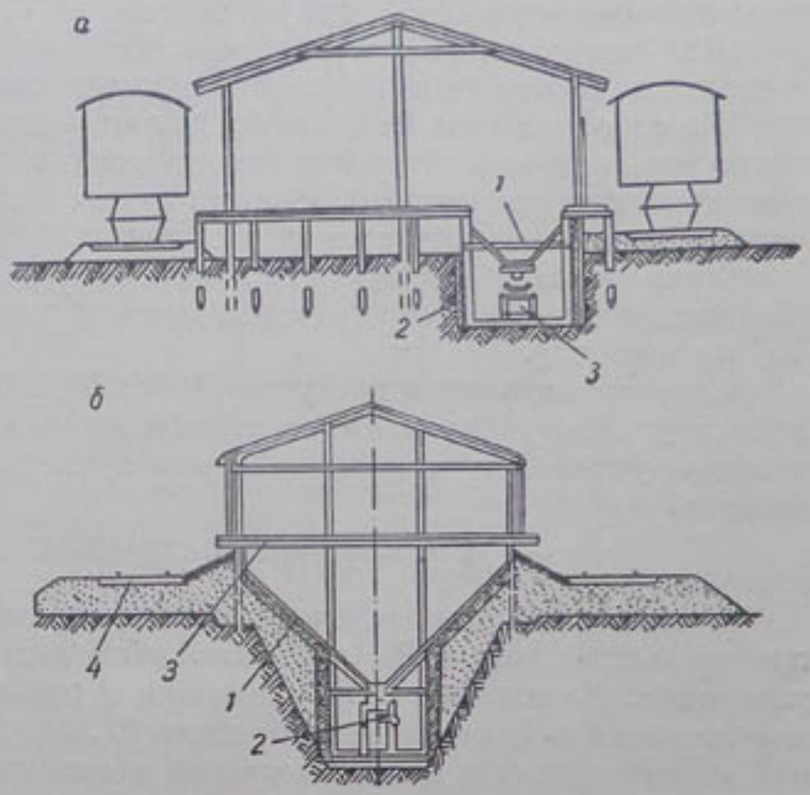


Рис. 244. Склады цемента:
а—приемный цементный склад с двумя путями: *1*—приемный бункер; *2*—туннель; *3*—транспортер. *б*—бункерный склад цемента на одну секцию: *1*—бункер; *2*—винтовой транспортер; *3*—решетка; *4*—железнодорожный путь.

Цементные склады бывают амбарными, бункерными и силосными.

Склады амбарного типа (рис. 244, *а*)—наиболее простые по устройству и применяются для приемных складов; обычно их строят из дерева.

Они имеют плоское дно и разделяются вертикальными стенками на отдельные бункера для хранения навалом цемента различных сортов. Высота штабелей при хранении навалом—до 1,5 *м*, при хранении в мешках и ручной укладке—до 2 *м*. Загрузка складов осуществляется при помощи механических разгрузочных лопат со скребком, приводимых в движение от лебедки.

Высота бункерных складов (обычно круглых) не превышает их полуторного диаметра; при большей высоте они классифицируются как силосные.

На рисунке 244, *б* показан склад бункерного, полуподземного типа емкостью 1200 *т*, длиной 40 *м*, с успехом эксплуатировавшийся на ряде участков Волго-Донского канала. Внутри плоскость бункера обшивается двумя рядами досок толщиной 40 и 19 *мм* с прокладкой между ними толя.

Наименьший угол днища с гравитационным истечением без побуждения должен быть на 5—10% больше угла естественного откоса. Высота укладки цемента россыпью в бункерах доходит до 3—4 *м*.

Силосные склады круглой формы часто строят инвентарными из металла.

---

[1] Г. Г. Зеличенок. Механизированные и автоматизированные бетонные заводы. Госстройиздат, 1954.

На строительстве Цимлянского гидроузла был применен инвентарный сборно-разборный автоматизированный склад цемента на 18 000 *т* с коническим днищем, подземными железобетонными галереями и набивными песчанобетонными конусами под днищем; нагрузка от силоса передается непосредственно на грунт; подсилосное пространство отсутствует.

Склад состоит из 16 сборно-разборных силосов, объединенных в четыре секции и из четырех приемных сараев с деревянными приемными бункерами. Склад оборудован винтовыми транспортерами (шнеками) диаметром 500 *мм*, проложенными под силосами, и ковшовыми элеваторами для вертикального транспорта. Диаметр силосов 10, высота 16 *м*. Схема транспортных устройств позволяет подавать цемент на бетонный завод, перемещать цемент из одного силоса в другой, а также из приемных бункеров непосредственно в бетоносмесительное отделение, минуя силосы.

Для ликвидации сводообразования предусмотрены воздушные автоматически включающиеся эжектирующие сопла.

На строительстве Волжской, Сталинградской и Каховской гидростанций металлические силосы были смонтированы на металлических колоннах с выпускными отверстиями, приподнятыми на 2—3 *м*; подсилосное пространство использовано для транспортерных галерей.

Угол наклона образующих конуса к горизонту, равный 48°, оказался на Цимлянском гидроузле недостаточным и цемент откладывался под углом 75° к горизонту.

Составы с цементом поступают на склады без переформирования, поэтому все склады располагаются непосредственно на площадке у бетоносмесительной установки и должны иметь пути для приема хотя бы половины состава.

§ 9. БАРДОПРИСАДОЧНЫЕ УСТАНОВКИ

В состав бардоприсадочной установки входит прирельсовый склад для приема и хранения ССБ, поступающей в виде концентрата, и смесительная установка. Из цистерн ССБ сливается в склад, откуда по мере потребности переливается в баки-смесители; здесь ССБ разбавляют водой до 25-процентной концентрации и центробежными насосами перекачивают к дозаторам на бетонный завод по замкнутому циркуляционному трубопроводу.

Глава XVII

ПРИГОТОВЛЕНИЕ БЕТОНА

§ 1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Приготовление бетона заключается, во-первых, в тщательном перемешивании песка, щебня (гравия), цемента и воды в определенной пропорции, меняющейся в зависимости от состава заполнителей, сорта цемента и требуемой марки бетона; во-вторых, в выдаче бетонной смеси на средства подачи ее к месту укладки с такой интенсивностью, которая требуется по технологии укладки бетона. Таким образом, от завода могут потребовать одновременной выдачи бетона нескольких марок на разных цементах. Поэтому в комплекс бетоносмесительной установки входит: а) подача заполнителей со складов на завод в бункера бетоносмесительного цеха; б) отвешивание и загрузка бетономешалки; в) перемешивание компонентов бетона; г) выдача и погрузка бетонной смеси на транспортные средства.

Для больших бетоносмесительных установок все операции по приготовлению бетонной смеси автоматизированы.

Приготовление бетона осуществляется, как правило, механическим способом в бетономешалках; не механизированное приготовление допустимо лишь как исключение, при очень малых объемах бетона и невозможности

получения бетона с централизованных заводов или установок. Бетонные смеси заводского изготовления должны отвечать требованиям ГОСТ 7473—55.

Машинное приготовление бетона имеет следующие преимущества перед ручным: 1) повышенная (на 25—40%) прочность бетона, благодаря лучшему его перемешиванию; 2) значительная экономия в цементе и рабочей силе; 3) сокращение времени перемешивания с 15—20 до 1—2 *мин*; 4) значительное удешевление бетона.

§ 2. БЕТОНОМЕШАЛКА

Для приготовления бетона применяют смесительные машины со свободным перемешиванием, основным органом которых служит барабан, приводимый во вращение во время перемешивания. На внутренней поверхности барабана укреплены лопасти, увлекающие вверх загруженную в барабан смесь, чем обеспечивается хорошее перемешивание составляющих.

Сумма объемов сухих материалов (цемента, песка и гравия), загружаемых на один замес бетономешалки, определяет ее производственную мощность или емкость по загрузке, выражаемую в литрах (литраж бетономешалки). Для возможности свободного перемешивания литраж бетономешалки меньше геометрического объема барабана в 2,25—3 раза. Установлены следующие емкости выпускаемых нашей промышленностью бетономешалок: 100, 250, 425, 1200, 2400 и 4500 л.

Объем бетонной смеси, приготовляемой бетономешалкой за один раз, называется з а м е с о м. В процессе перемешивания получается уплотнение отдельных компонентов бетона, поэтому объем замеса меньше литража бетономешалки; отношение объема замеса к литражу называется к о э ф ф и ц и е н т о м в ы х о д а; он изменяется от 0,61 до 0,72.

Цикл работы бетономешалок состоит из трех операций: 1) загрузки, 2) перемешивания смеси и 3) разгрузки бетонной смеси.

Производительность бетономешалок определяется по формуле:

$$П = \frac{LnK_{вых}}{1000} K_{вр}\ м^3/см, \qquad (122)$$

где L — литраж бетономешалки;

n — число замесов в час;

$K_{вых}$ — коэффициент выхода бетона.

Состав бетона определяется бетонной лабораторией. Предположим, что лабораторией определен расход на 1 $м^3$ бетона: $Ц$ *кг* цемента, $В$ *кг* воды, $Г$ $м^3$ гравия и $П$ $м^3$ песка, тогда:

$$K_{вых} = \frac{1}{\frac{Ц}{1300} + Г + П}, \qquad (123)$$

где 1300 — средний объемный вес цемента в $кг/м^3$.

Наша промышленность выпускает следующие модели бетономешалок:

	Литраж в л	Модель
а) передвижные	100	С-187 и С-227
	250	С-99 и С-199
	425	С-159А
б) стационарные	250	С-350
	425	С-305, С-158 и С-336
	1200	С-221П (с пневматическим управлением), М-222 ПЭ (с электропневматическим управлением) и С-302
	2400	С-230А
	4500	С-270 (по специальному заказу)

Передвижные бетономешалки предназначены для отдельных установок на небольших строительных объектах, стационарные устанавливаются

в большинстве случаев на бетонных заводах. Промышленность изготовляет бетономешалки следующих трех типов:

1) с грушевидным опрокидывающимся барабаном, с одним отверстием для загрузки и разгрузки—для передвижных бетономешалок емкостью 100 и 250 *л*;

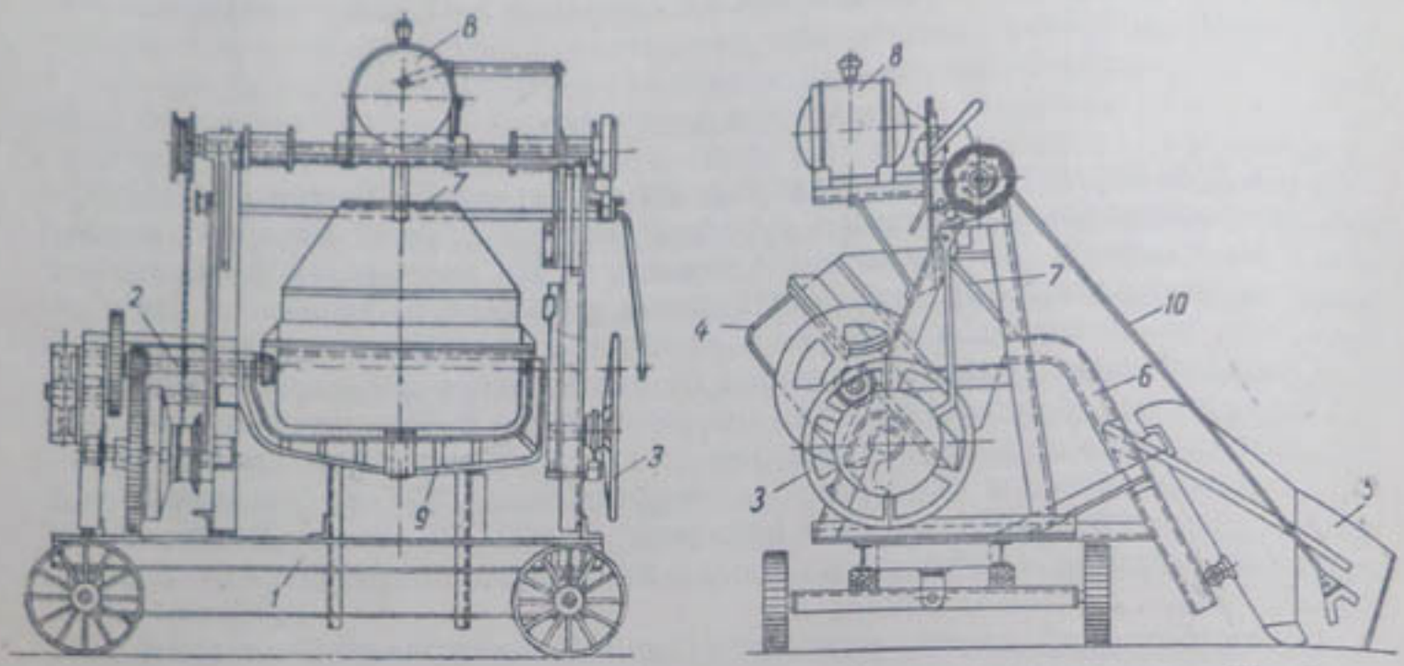


Рис. 245. Передвижная бетономешалка с грушевидным опрокидывающимся барабаном:
1—рама; *2*—главный вал; *3*—ручной штурвал; *4*—смесительный барабан; *5*—разгрузочный ковш; *6*—направляющие полозья ковша; *7*—загрузочно-разгрузочное отверстие; *8*—мерный бачок для воды; *9*—траверса; *10*—канаты для подъема ковша.

2) с горизонтальным цилиндрическим неопрокидным барабаном, с двумя отверстиями, с выгрузкой бетонной смеси лотками—для передвижных бетономешалок емкостью 425 *л* и стационарных емкостью 250, 425 и 1200 *л*;

3) с наклоняющимся барабаном из двух усеченных конусов с двумя отверстиями—для бетономешалок емкостью 425, 2400 и 4500 *л*.

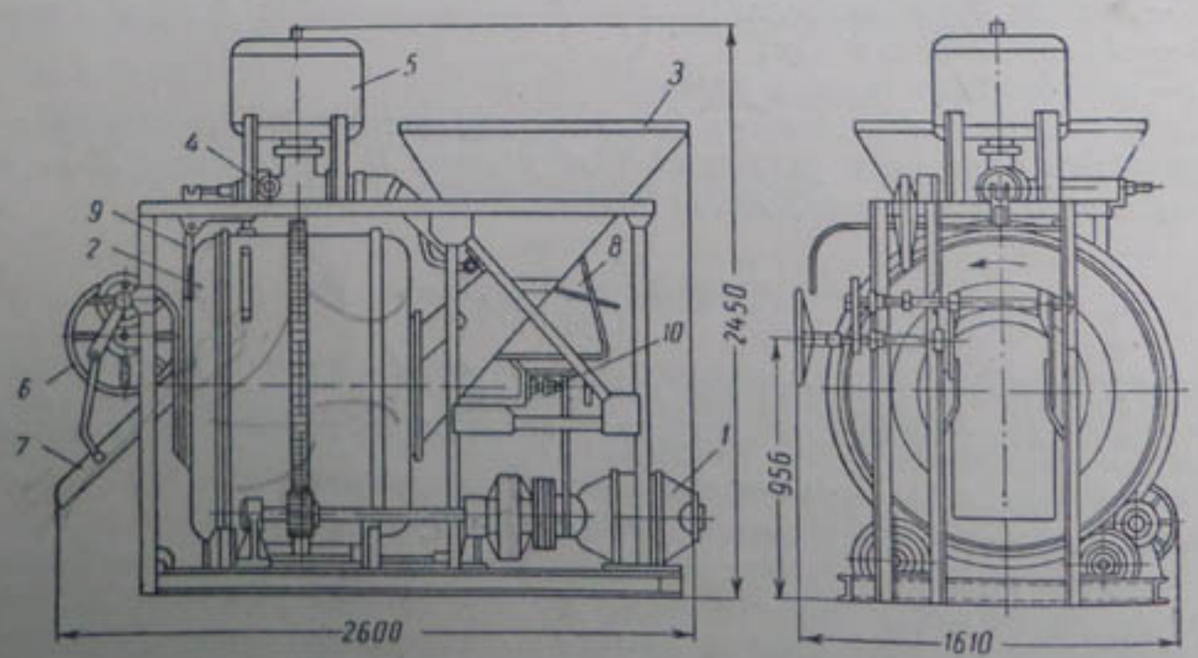
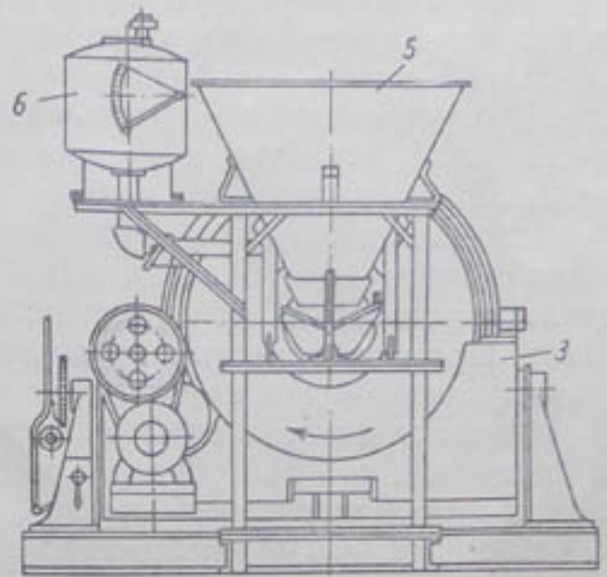


Рис. 246. Бетономешалка С-158 с неопрокидным цилиндрическим барабаном:
1—электродвигатель; *2*—смесительный барабан; *3*—загрузочный бункер; *4*—труба водопровода; *5*—водяной дозировочный бак; *6*—штурвал; *7*—выгрузочный лоток; *8*—рычаг заслонки бункера; *9*—рычаг водяного дозировочного бака; *10*—вибратор.

На рисунке 245 показана бетономешалка с грушевидным опрокидывающимся смесительным барабаном *4*, с одним отверстием *7*, через которое производится загрузка материалов и выгрузка бетонной смеси. Во время пере-

мешивания барабан вращается вокруг вертикального вала двигателя. Вращение передается через насаженную на вал *2* коническую зубчатую шестерню и зубчатый обод на окружности цилиндрической части барабана. Кроме этого, барабан наклоняется в положения загрузки и разгрузки штурвалом *3*, соединенным с траверзой *9* и осью барабана. Бетономешалка загружается ковшом *5*, передвигающимся на роликах по полозьям *6*, верхний конец которых горизонтален; благодаря этому ковш, достигнув верхнего положения, начинает вращаться, поднимается и разгружается в отверстие бетономешалки. Ковш поднимается канатами *10*, навитыми на два барабана, насаженные на горизонтальный вал, приводимый в движение от фрикционной лебедки. Над барабаном установлен водяной бачок *8*.



Барабан и все механизмы монтируются на стационарной или передвижной раме *1*.

Передвижная бетономешалка описанного типа емкостью 250 *л* (С-199) имеет барабан, делающий 16,3 *об/мин*, электродвигатель мощностью 3,8 *квт*; вес ее 1650 *кг*; средняя производительность 5,9 $м^3/час$.

Бетономешалки этого типа емкостью 100 и 250 *л* обеспечивают хорошее перемешивание, легкое опрокидывание, быстрое и полное опоражнивание.

Бетономешалка с неопрокидным цилиндрическим смесительным барабаном *2*, емкостью 425 *л*, вращающимся вокруг горизонтальной оси, с двумя отверстиями в вертикальных днищах для загрузки и выгрузки показана на рисунке 246. Барабан имеет два бандажа, опирающихся на две пары опорных роликов; в средней части барабана на него насажен зубчатый венец, соединенный с зубчатой передачей, приводимой в движение от электродвигателя.

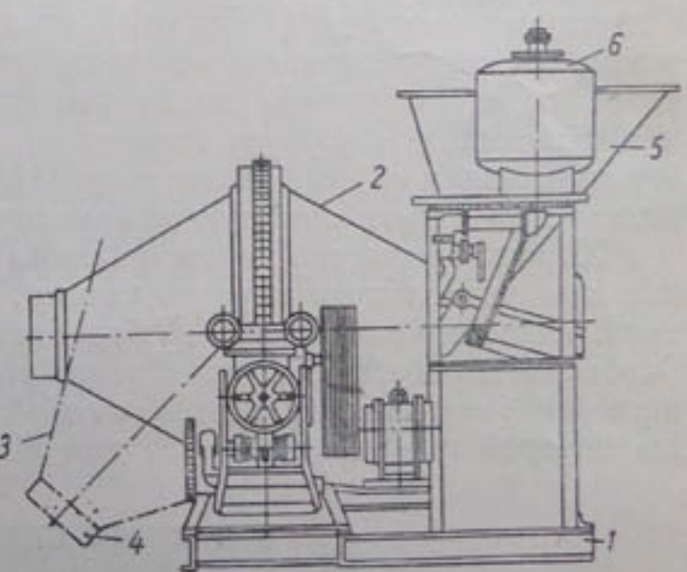


Рис. 247. Бетономешалка с наклоняющимся барабаном:

1—рама; *2*—смесительный барабан в положении перемещения; *3*—барабан при разгрузке; *4*—разгрузочное отверстие; *5*—загрузочный бункер; *6*—водяной бак сифонного действия.

Бетономешалка загружается через бункер *3*, имеющий затвор перед отверстием барабана.

У разгрузочного отверстия шарнирно закреплен лоток *7*; при разгрузке лоток наклоняется в сторону от барабана, который продолжает вращаться, в результате чего барабан опоражнивается. При перемешивании лоток поворачивается с уклоном внутрь барабана, предупреждая этим возможность выбрасывания из барабана смешиваемых материалов. Над барабаном находится водяной бак *5* сифонного действия.

Бетономешалки емкостью 425 *л* можно использовать как для индивидуальных установок на стройплощадках, так и на бетонных заводах. Опыт показал, что бетономешалки этого типа обеспечивают хорошее перемешивание и удовлетворительную выгрузку при крупности гравия или щебня не более 50—60 *мм*.

При большей крупности заполнителей перемешивание и выгрузка значительно лучше осуществляются в бетономешалках с наклоняющимся смесительным барабаном и двумя отверстиями для загрузки и разгрузки (рис. 247). Барабан 2 бетономешалки этого типа имеет форму двух усеченных конусов, соединенных короткой цилиндрической частью. Благодаря такой форме барабана перемешиваемые материалы, падая с лопастей, направляются навстречу к средней части барабана, что и обеспечивает хорошее перемешивание. На цилиндрической части барабана надеты два бандажа, опирающиеся на ролики, и зубчатый венец, с которым соединена шестерня, вращаемая от главного вала. Это устройство обеспечивает вращение барабана во время перемешивания; наклон барабана в положения загрузки и разгрузки производится штурвалом от приводного вала.

На наших заводах работали бетономешалки емкостью 2400 *л* с наклоняющимся смесительным барабаном; наблюдения над их работой показали вполне удовлетворительные конструктивные и эксплуатационные качества этих машин. Промышленность выпускает также бетономешалки емкостью 4500 *л*, предназначенные для крупных бетонных заводов.

В бетономешалках с неопрокидным барабаном бетон выгружается мелкими порциями, что способствует более легкому его расслоению. В бетономешалках с наклоняющимся барабаном время выгрузки значительно сокращается, бетонная смесь не дробится на мелкие объемы, а выгружается сплошным потоком. Это уменьшает опасность расслоения. К недостаткам бетономешалок с неопрокидным барабаном относятся большее время выгрузки, затрудни-тельность перемешивания малоподвижных смесей и наличие остатков раствора в бетономешалке после выгрузки, трудно удаляемых при очистке и вызывающих некоторое искажение состава бетонной смеси. Опрокидные бетономешалки грушевидного типа дают более однородный бетон, чем неопрокидные, но имеют сложную кинематическую схему.

Хорошее качество перемешивания смеси обеспечивается в бетономешалках принудительного перемешивания, которые выпускаются стационарного типа, емкостью смесительного барабана 250 и 500 *л* (модели С-371 и С-355). Особенностью бетономешалок этого типа является конструкция смесительного барабана, представляющего собой цилиндрическую чашу, в центре днища которой имеется отверстие для выгрузки готовой смеси.

§ 3. ВРЕМЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

Однородность бетона и его качество зависят от времени перемешивания и повышаются с его увеличением. Особенно большое значение имеет время перемешивания для гидротехнического бетона, так как однородность и связанная с ним плотность — основные требования, предъявляемые к этому виду бетона.

Рис. 248. Влияние времени перемешивания на прочность бетона (для неопрокидных бетономешалок):

1—пластичный бетон; *2*—жесткий бетон.

Опыт показал, что с увеличением времени перемешивания прочность бетонов возрастает (рис. 248). Однако нарастание прочности бетона, сначала весьма быстрое, в дальнейшем резко замедляется: следовательно, эффект увеличения времени перемешивания практически имеет свой предел. С другой стороны, следует учитывать, что перемешивание составляет основную часть времени цикла изготовления бетона и увеличение его сильно снижает производительность бетономешалок.

Время перемешивания определяется в зависимости от литража бетономешалки и консистенции бетона.

В таблице 43 приведены данные о времени перемешивания бетона в секундах.

Таблица 43

Емкость бетономешалки в *л*	Продолжительность перемешивания в сек для тяжелых бетонов с осадкой конуса в см	
	до 6	более 6
До 425	60	45
1200	120	90
2400	150	120

При пользовании таблицей 43 следует иметь в виду, что время перемешивания для неответственных конструкций можно уменьшить в $1^1/_2$ раза и что зимой время перемешивания должно увеличиваться независимо от литража бетономешалки на 30 *сек*.

В некоторых исследованиях влияние времени перемешивания на однородность бетона определяют по консистенции, прочности и зерновому составу[1]. Исследования показали, что на время перемешивания оказывают влияние: 1) крупность песка (при мелком песке требуется более длительное перемешивание; необходимое увеличение времени может достигать 30 *сек*); 2) содержание цемента в бетоне (перемешивание тощих бетонов должно производиться в течение большего времени, чем жирных); поэтому продолжительность перемешивания должна пересматриваться при изменении расхода цемента больше чем на 50 *кг/м*^{3} и при изменении консистенции бетона.

Продолжительность перемешивания в бетономешалках емкостью более 425 *л* должна устанавливаться опытами. Сорт цемента и крупный заполнитель не оказывают влияния на длительность перемешивания. Отсюда следует, что при назначении длительности перемешивания нельзя руководствоваться только нормами; рекомендуется проверять правильность выбора времени на основе работ полевых бетонных лабораторий.

§ 4. РЕЖИМ РАБОТЫ БЕТОНОМЕШАЛОК

На качество выпускаемого бетона и на производительность бетономешалок, кроме времени перемешивания, влияют и другие факторы.

Число оборотов барабана в минуту от 16 до 24,5—для мелких и от 10 до 13—для крупных барабанов представляется оптимальным; его изменение нарушает правильность перемешивания и понижает прочность бетона.

Барабаны бетономешалок должны загружаться на нормальный литраж, ибо качество бетона ухудшается как при недогрузках, так и при перегрузках. По некоторым данным недогрузка или перегрузка барабана на 20% снижает прочность бетона на 10—20%. Влияет также и наклон барабана. Наилучшее перемешивание в бетономешалках с опрокидным и наклоняющимся барабаном получается при почти горизонтальном положении барабана.

Обычно в бетономешалку сначала подают воду, а затем прочие компоненты в любой последовательности. При применении сухих добавок, не смешанных с цементом, сначала загружают цемент, добавки и воду; они предварительно перемешиваются в течение 2—2,5 *мин*.

При применении мокрых добавок сначала загружают цемент и добавки и перемешивают их в течение 1—1,5 *мин*, после чего добавляют заполнители и воду и перемешивают их по установленному режиму.

[1] А. И. Ваганов. Продолжительность перемешивания гидротехнического бетона. «Гидротехническое строительство» № 4, 1948.

Барабан следует полностью опоражнивать при каждом замесе.

По окончании смены, а также после перерывов продолжительностью более 30 *мин* в барабан нужно загрузить некоторое количество гравия, налить воды и, вращая, промывать и очищать до полной чистоты. Для отвода грязной воды на бетонных заводах устраивают канализационную систему, доступную для очистки от осаждающихся наносов.

Установленное время перемешивания должно точно выдерживаться, поэтому сокращение времени цикла бетономешалки и повышение ее производительности может быть достигнуто только в результате рационализации загрузки и разгрузки и снижения времени на эти операции.

Время на загрузку бетономешалок с автоматическими дозаторами принимается по паспортным данным 25 *сек*; на строительстве Волго-Донского канала его удавалось снижать до 10 *сек*.

Время на выгрузку бетонной смеси для неопрокидных бетономешалок емкостью 1200 *л* принимается 24 *сек*, но его удавалось сокращать до 15 *сек*; для бетономешалок опрокидного типа емкостью 1200 *л* средняя продолжительность выгрузки 15 *сек*[1].

Применение загрязненных заполнителей (без промывки) ведет к потере части воды на впитывание заполнителями и снижает подвижность бетонной смеси, поэтому промывка крупного заполнителя обязательна. Зимой гравий или щебень следует обогревать.

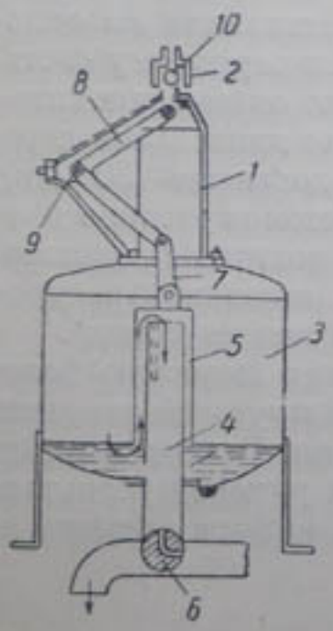


Рис. 249. Водяной дозировочный бачок сифонного типа для бетономешалок емкостью до 1000 *л*:

1—герметически закрытая коробка с шаровым клапаном; *2*—для выпуска воздуха; *3*—цилиндрический резервуар; *4*—труба для наполнения и опорожнения бака; *5*—колпак, прикрывающий трубу *4*; *6*—трехпроходный кран; *7*—серьга; *8*—рычаг; *9*—ось рычага; *10*—шарик.

§ 5. ДОЗАТОРЫ КОМПОНЕНТОВ БЕТОНА

Для получения бетона проектного состава необходимо точное дозирование компонентов, для чего применяют специальные приборы—дозаторы.

Составляющие бетона дозируют весовым и объемным способами. Цемент дозируют только весовым способом, так как в зависимости от способа загрузки и плотности укладки объемный вес его может значительно изменяться. Песок и гравий дозируют как по объему, так и по весу.

На бетонных заводах обязательна весовая дозировка материалов, входящих в состав бетонных смесей (ГОСТ 7473—55). Точность дозировки цемента и воды ±2%, заполнителей ±3%. Дозировка песка ведется с учетом его влажности.

Точное отмеривание воды очень важно для получения бетона заданной прочности, так как водоцементное отношение является одним из основных показателей состава бетона. Наибольшая точность дозировки обеспечивается водяным баком сифонного действия (рис. 249). Он состоит из герметически закрытой коробки *1* с воздушным клапаном и цилиндрического резервуара *3*; бак наполняется водой и опоражнивается через трубу *4*, на которой укреплен трехпроходный кран *6*. Труба *4* прикрыта колпаком *5*, подвешенным на серьге *7* к рычагу *8*, к оси которого прикреплена стрелка-указатель. При наполнении бака через трубу *4* воздух из него вытесняется через воздушный клапан, шарик *10* всплывает и закрывает отверстие клапана. При опорожнении бака водопроводную трубу закрывают трехпроходным краном и открывают трубу на вылив, происходящий до момента разрыва сифона, когда уровень в баке опустится до нижней кромки колпака *5*.

---

[1] Г. Г. Зеличенок. Механизированные и автоматизированные бетонные заводы. Госстройиздат, 1954.

Передвижением колпака можно изменять дозировку воды; точность дозировки доходит до 1%.

Весовые дозаторы бывают с ручным управлением и автоматические. Первые применяются для стационарных бетономешалок емкостью 425 и 1200 *л*; автоматические дозаторы применяются для стационарных бетономешалок емкостью 1200, 2400 и 4500 *л*. Управление всеми дозировками дистанционное, электропневматическое. Весовые дозаторы состоят из: весового дозировочного бункера, загрузочного устройства, грузоприемных рычагов, весового механизма и механизмов управления.

В комплект дозаторов для бетономешалок емкостью 1200 *л* входят: 1) двухфракционный дозатор для песка и крупного щебня (40—120 *мм*), ДИ-1200; 2) двухфракционный дозатор для мелкого щебня (5—20 *мм*) и среднего щебня (20—40 *мм*); 3) дозатор для цемента ДЦ-1200; 4) дозатор для воды ДВ-1200.

Дозаторы для заполнителей имеют аналогичную конструкцию. Расход воздуха для работы комплекта дозаторов составляет 7 $м^3/час$, при давлении 7 *атм*.

Весовые дозировки обеспечивают наиболее точное определение необходимого количества компонентов бетона на 1 $м^3$. Это вполне справедливо для цемента и воды, но по новым исследованиям весовые дозировки не обеспечивают постоянства состава бетонной смеси, т. е. однородности, вследствие непостоянства зернового состава заполнителей, влияющего на вес единицы объема их.

Нарушение объемного соотношения между цементным тестом и заполнителями является, согласно исследованиям П. П. Цулукидзе[1], одной из основных причин получения бетона разного объемного веса и разной прочности. Поэтому П. П. Цулукидзе ставит вопрос о необходимости двойной дозировки заполнителей, весовой и объемной, для обеспечения устойчивой структуры и однородности бетонной смеси.

§ 6. БЕТОННЫЕ ЗАВОДЫ

На бетонных заводах все процессы приготовления бетона и подачи материалов полностью механизированы. Равным образом должны быть механизированы склады заполнителей и цемента, располагаемые на территории бетонного завода и составляющие с ним общую производственную единицу.

Широко применяются автоматизированные бетоносмесительные установки, в которых автоматически регулируются процессы взвешивания, выгрузки дозаторов, режима перемешивания и выгрузки бетономешалок; данные о ходе производственного процесса передаются на центральный пульт управления посредством сигнализации.

К бетонным заводам предъявляется ряд требований[2].

1. Неизменный качественный и количественный состав компонентов в продолжение всего периода приготовления бетонной смеси данной марки. Для соблюдения этого условия бетонная смесь должна быть заданного состава с отступлением по цементу на $\pm 1\%$, заполнителям $\pm 2\%$ и по воде $\pm 1\%$.

2. Постоянство и однородность состава и консистенции бетонной смеси в результате перемешивания в бетономешалках; допустимое отклонение осадки конуса ± 1 *см*; длительность перемешивания компонентов бетонной смеси при приготовлении данной марки бетона должна быть постоянной.

3. Возможность быстрого перехода с одной марки бетона на другую.

4. Надежная защита от перегрузок, обеспечивающая бесперебойность процесса приготовления бетонной смеси.

---

[1] П. П. Цулукидзе. Некоторые вопросы технологии бетона. Л., 1957.

[2] Г. Г. Зеличенок. Механизированные и автоматизированные бетонные заводы. Госстройиздат., 1954.

5. Повышение коэффициентов использования механизмов и упрощение операций управления.

6. Максимальное применение сборно-разборных инвентарных конструкций для постройки заводов, позволяющих осуществлять многократный их монтаж и демонтаж .

Конструкция бункеров должна допускать быструю их разгрузку; с этой целью угол наклона граней бункеров делают не менее 50°—для заполнителей и не менее 55—60°—для цемента и бетонной смеси; размер выпускных отверстий в бункерах принимают не менее 40×40 *см* для бетонной смеси и не менее размера выпускных отверстий дозировок для сухих материалов. Это же требование относится к распределительной и загрузочной воронкам.

Чтобы не было задержек в работе бетономешалок при перебоях в подаче транспортных средств, нужно предусматривать разгрузку бетономешалок в бункеры. При отвозке бетонной смеси ленточными транспортерами устройство бункеров обязательно.

Для предотвращения сырости в цементных бункерах при нагреве острым паром заполнителей в соседних бункерах рекомендуется проложить двойной слой толя под внутренней обшивкой бункера и сделать крышку над бункером; загружать цемент в бункер следует через закрытые лотки или трубы.

Воду, получаемую от конденсации пара в бункерах заполнителей при их нагреве, надо отводить из бункеров во избежание ржавления и порчи затворов.

Дозировочное помещение устраивают высотой не менее 1,8 *м*, а лучше 2—2,2 *м*. Отверстия бункеров располагают над дозаторами, а отверстия последних—над загрузочной воронкой бетономешалки.

Дозаторы для заполнителей следует располагать компактно для возможности обслуживания их одним рабочим.

Завод должен иметь внутренний ход и сигнализацию для обеспечения согласованной работы дозировщика и моториста бетономешалки. При отвозке бетона автотранспортом необходимо обеспечить свободный подъезд к каждой бетономешалке независимо от хода выгрузки из остальных.

Весьма целесообразно предусмотреть на заводе, особенно на крупном, автоматизацию и диспетчеризацию управления.

Транспортировка заполнителей осуществляется ленточными транспортерами, наклонными элеваторами, скиповыми и шахтными подъемниками. Наиболее надежны ленточные транспортеры, оправдавшие себя в эксплуатации даже при значительных перегрузках.

Цемент транспортируется в расходные бункеры механическим транспортом (элеватором в вертикальной плоскости и винтовыми транспортерами в горизонтальной) и пневматическим, ликвидирующим потери цемента при перегрузках и транспортировании. Пневматический транспорт цемента получает все более широкое применение.

Для ускорения доставки бетонной смеси к месту укладки бетонные заводы располагают, по возможности, на расстоянии 100—200 *м* от сооружения; на крупных стройках это расстояние достигает 1 *км*. Обязательное требование для размещения бетонного завода—это возможность использования его и подсобных предприятий до окончания бетонных работ; поэтому если на площадке завода намечаются какие-либо работы (земляные, прокладка трубопроводов), то они должны быть выполнены одновременно со строительством завода или раньше этого.

Бетонные заводы бывают одноступенчатые (рис. 250, *а*) и двухступенчатые (рис. 250, *б*). Одноступенчатые заводы состоят из пяти этажей; компоненты бетонной смеси подаются на пятый этаж и оттуда передвигаются к бетономешалкам силой тяжести.

На рисунке 250, *а* показана вертикальная схема одноступенчатого завода. Заполнители, поступающие на пятый этаж завода, подаются к бункерам ленточным транспортером *1* через распределительную поворотную воронку *2*; цемент сбрасывается в бункеры пневматическим способом по цементопрово-

дам 3. Из бункеров 4 и 5 компоненты бетона поступают в дозаторы 7, а из них через загрузочную воронку 8 в бетономешалки 9. Из бетономешалок 9 приготовленная бетонная смесь выгружается в бункер 10 с питателем 11, через который она подается на ленточный транспортер.

На рисунке 250, б показана двухступенчатая схема бетонного завода при которой материалы поднимаются и спускаются два раза—сначала в дозировочном цехе и затем в смесительном. По этой схеме высота завода получается меньшей, зато площадь цехов увеличивается более чем в два раза.

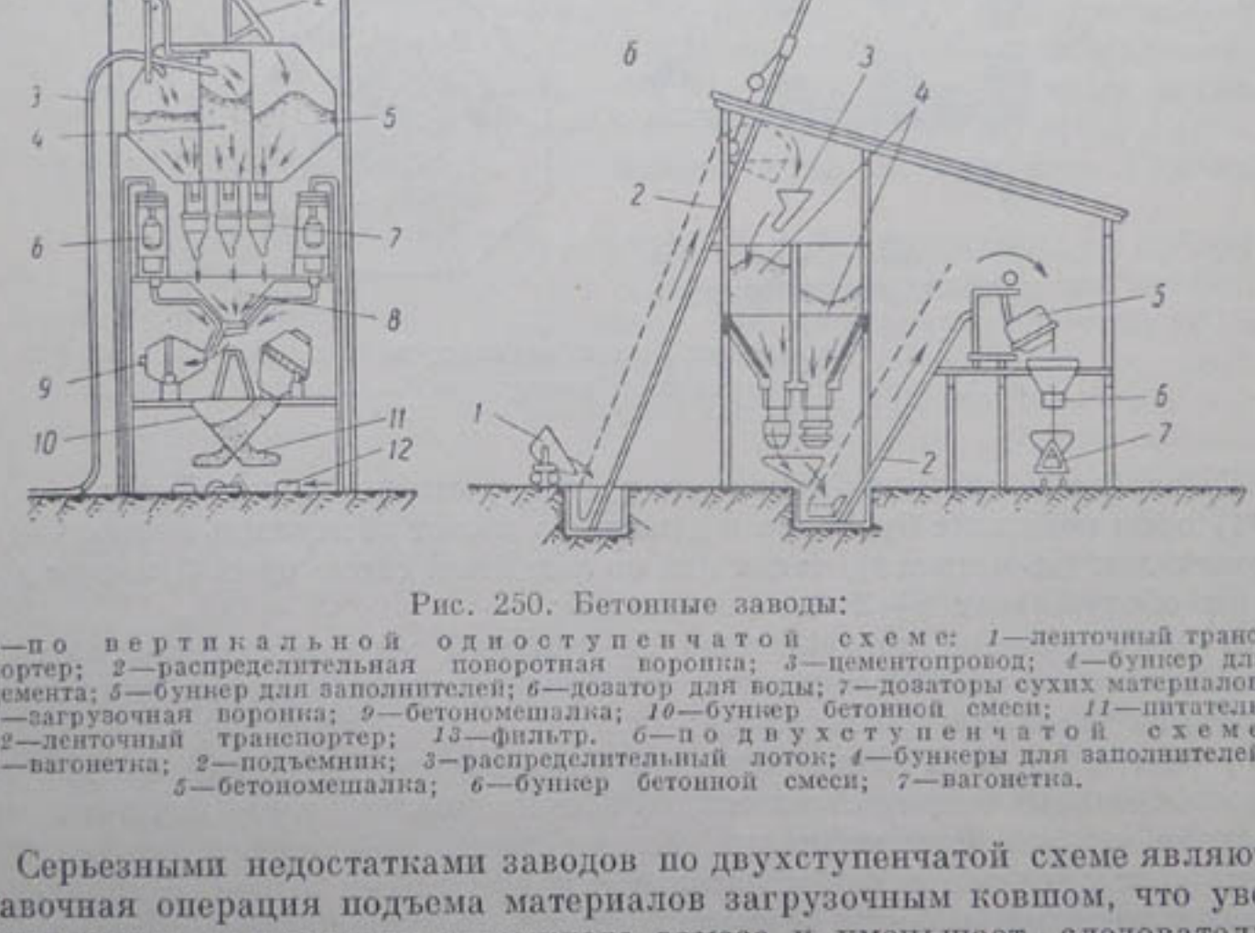


Рис. 250. Бетонные заводы:

а—по вертикальной одноступенчатой схеме: *1*—ленточный транспортер; *2*—распределительная поворотная воронка; *3*—цементопровод; *4*—бункер для цемента; *5*—бункер для заполнителей; *6*—дозатор для воды; *7*—дозаторы сухих материалов; *8*—загрузочная воронка; *9*—бетономешалка; *10*—бункер бетонной смеси; *11*—питатель; *12*—ленточный транспортер; *13*—фильтр. *б*—по двухступенчатой схеме: *1*—вагонетка; *2*—подъемник; *3*—распределительный лоток; *4*—бункеры для заполнителей; *5*—бетономешалка; *6*—бункер бетонной смеси; *7*—вагонетка.

Серьезными недостатками заводов по двухступенчатой схеме являются: добавочная операция подъема материалов загрузочным ковшом, что увеличивает время приготовления каждого замеса и уменьшает, следовательно, производительность бетономешалок; увеличение числа рабочих, повышение площади застройки и удельной энергоемкости установки, усиление пыления. Поэтому двухступенчатые схемы, имевшие ранее значительное распространение на заводах малой мощности, вытесняются вертикальными одноступенчатыми схемами.

В СССР еще в 1939—1940 гг. было организовано серийное производство типовых секций инвентарных заводов с металлическим каркасом для бетономешалок емкостью 1000 и 2200 *л*[1]. Секция такого завода на одну бетономешалку 2200 *л*, одну или две бетономешалки 1000 *л* устраивается из независимых каркасов смесительного здания цементного бункера и металлической эстакады, разбитых на монтажные элементы.

Цементный бункер может обслужить две смесительные секции. Монтаж таких заводов может быть выполнен значительно быстрее, чем постройка постоянного завода; поэтому при необходимости быстрой выдачи бетона после начала работ применение сборных заводов вполне оправдано.

Крупным достижением советской техники явилось создание мощных автоматизированных заводов большой производительности, на которых все

---

[1] Г. Д. Петров. Бетонное хозяйство при строительстве гидроэлектростанций. Госэнергоиздат, 1949.

механизмы управляются с центрального пульта. На этих заводах устанавливаются бетономешалки емкостью 2400 *л* с наклоняющимся барабаном. Наклон барабана и его возвращение в исходное положение производится пневмоэлектрическим приводом[1].

На Цимлянском гидроузле Волгодонстроя был построен крупнейший в то время в Советском Союзе автоматизированный бетонный завод производительностью 700 *м*³/*сутки*; на Куйбышевгидрострое производительность автоматизированных бетонных заводов составляла 8000 и 2000 *м*³/*сутки*.

Компоновку бетонных заводов в плане можно делать либо по линейной, либо по гнездовой схемам (рис. 251).

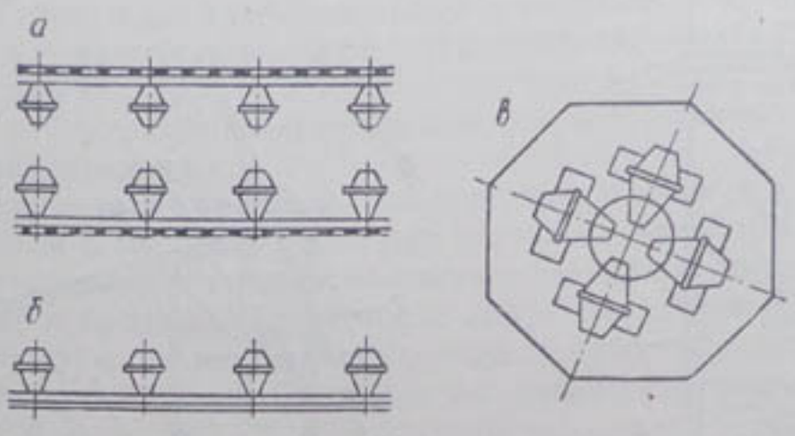


Рис. 251. Компоновка бетонных заводов в плане:
а—линейная с двусторонней разгрузкой; *б*—линейная с односторонней разгрузкой; *в*—гнездовая.

Гнездовая компоновка имеет ряд преимуществ перед линейной:

1) один комплект бункеров и дозаторов может обслужить несколько бетономешалок (до четырех), тогда как по линейной схеме один бункер с дозаторами обслуживает 1—2 бетономешалки;

2) распределение поступающих на верхний этаж завода заполнителей производится поворотной воронкой, что проще устройства вдоль всего завода нескольких транспортерных линий;

3) разгрузка всех бетономешалок производится в общий бункер или в самостоятельные бункеры при каждой бетономешалке, тогда как при линейной схеме каждая бетономешалка должна иметь свой бункер для бетонной смеси; однако схема с самостоятельными бункерами более рациональна, так как благодаря большей компактности завода упрощается автоматизация управления;

4) строительный объем завода сокращается: с 400—500 до 250 *м*³ на 1000 *л* емкости бетономешалок;

5) снижаются и эксплуатационные расходы с 20—30% от стоимости бетона при неавтоматизированных заводах линейного типа до 10—15% на автоматизированных заводах гнездового типа;

6) качество бетона на автоматизированных заводах повышается за счет большей точности дозировки (с 5 и 3% при объемных и весовых дозировках с ручным управлением до 2% при весовых автоматизированных дозировках);

7) на автоматизированных заводах время загрузки и разгрузки бетономешалок сокращается на 50%, в связи с чем их производительность повышается на 15%.

Бетоносмесительные установки по гнездовой схеме впервые были построены на строительстве Волго-Донского канала, а затем были сооружены на строительстве Волжской, Сталинградской, Каховской и других ГЭС.

---

[1] П. И. Осипов и В. Д. Михайлов. Производство строительных машин. «Механизация строительства» № 6, 1951.

§ 7. БЕТОННЫЕ ЗАВОДЫ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Растущие объемы и темпы бетонных работ требуют дальнейшего увеличения мощности бетонных заводов. Это может быть достигнуто увеличением либо числа бетономешалок, либо их литража. Однако увеличение емкости бетономешалок до 4500 и 6000 *л* приводит к сложным и дорогим конструкциям; увеличение же числа бетономешалок сделало бы заводы еще более громоздкими.

Советские инженеры поэтому изыскивали возможности непрерывного приготовления бетонной смеси; это возможно при условии наличия оборудования для непрерывного и точного дозирования компонентов бетонной смеси, а также для их смешения.

Впервые бетонные заводы были созданы в Советском Союзе и применялись при строительстве Свирской (автор проекта П. С. Непорожний), Нарвской (1953 г.), Горьковской (1954 г.) и Волжской (1955 г.) гидростанций.

Указанные заводы строились с дозаторами и смесителями различных устройств. Опишем завод непрерывного действия Куйбышевгидростроя производительностью 120 $м^3/час$, переданный после испытаний на Сталинградгидрострой.

Из дозировочного отделения *а* (рис. 252, *а*) бетонная смесь по собирательному транспортеру *7* поступает в смесительное отделение *б*, где установлена бетономешалка непрерывного действия С-314 производительностью 120 $м^3/час$ (отметим, что паспортная производительность бетономешалки емкостью 2400 *л* равна 45 $м^3/час$). Над бетономешалкой установлен объемный водяной дозатор производительностью 25 $м^3/час$ с постоянным уровнем наполнения и дозировочным бачком емкостью 1,5 $м^3$. Здесь же, в отдельном помещении, смонтирован центральный пульт управления. Из бетономешалки бетонная смесь поступает в раздаточный бункер *10* с четырьмя отсеками по 5 $м^3$; каждый отсек оборудован затвором шторного типа с пневмоуправлением. Для поочередной разгрузки бетономешалки в каждый отсек бункера установлена полноповоротная воронка *9* диаметром 500 *мм*. Заполнители поступают со склада в питающий ленточный транспортер *1*, расположенный в надбункерном помещении, и сбрасывающей тележкой *2* разгружаются в бункеры. Всего установлено шесть бункеров, из которых три предназначены для мелкого, среднего и крупного гравия, один для песка, один для цемента, один—запасной, для испытаний. Каждый бункер имеет два отсека полезной емкостью по 65 $м^3$, что обеспечивает запас для двухчасовой работы. Подача цемента из силосов пневмотранспортом; для осаждения частиц цемента из воздуха над бункером был установлен циклон *3* и матерчатый фильтр *4*.

Управление загрузкой бункеров осуществлялось с пульта надбункерной галереи, для чего в них установлены указатели уровня, оказавшиеся, однако, неработоспособными.

Под каждым бункером были смонтированы весовые автоматические дозаторы непрерывного действия *6* проектной производительностью 100 *т/час*, из которых сухая смесь из послойно уложенных трех фракций гравия, песка и цемента поступала на собирательный ленточный транспортер с лентой шириной 800 *мм*, передававший ее в смесительное отделение.

В состав каждого весового дозатора входят: электромагнитный питатель, весовой механизм и система автоматики.

Принцип устройства дозатора сводится к следующему (рис. 253): материал из бункера поступает в вибролоток *2* электромагнитного питателя, равномерно высыпающего сухую смесь на весовой транспортер *3*; последний отрегулирован грузом *6* на определенную производительность. С весового транспортера материал непрерывно подается на ленту сборного транспортера *4*.

Точность дозировки обеспечивается связью между положением коромысла весового механизма и натяжением на катушках электромагнитного питателя, регулируемым включенным в систему индуктивным датчиком.

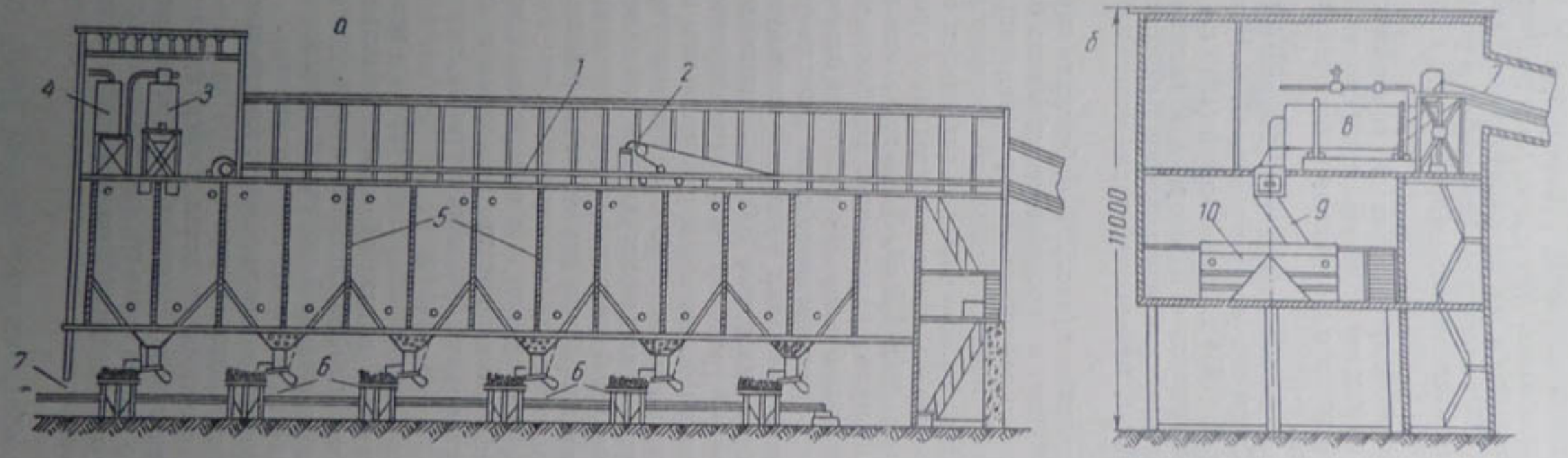


Рис. 252. Схема бетонного завода непрерывного действия:

а—дозировочное отделение; б—смесительное отделение: 1—питающий ленточный конвейер; 2—сбрасывающая тележка; 3—циклон; 4—фильтр с вентилятором; 5—расходные бункеры; 6—дозаторы непрерывного действия; 7—ленточный собирающий конвейер; 8—бетономешалка непрерывного действия; 9—воронка поворотная; 10—раздаточный бункер.

В цементном бункере поставлен сводообрушитель и лопастная течка для предотвращения самовольного истечения цемента при обрушении свода.

Бетономешалка непрерывного действия производительностью 120 *м*³/*час* представляет собой барабан диаметром 1,6 *м*, длиной 4 *м*, весом 6,2 *т*, вращающийся со скоростью от 17 до 21 *об/мин*. На внутренней поверхности барабана укреплено 20 неподвижных лопастей, что обеспечивает перемешивание компонентов бетонной смеси при вращении барабана.

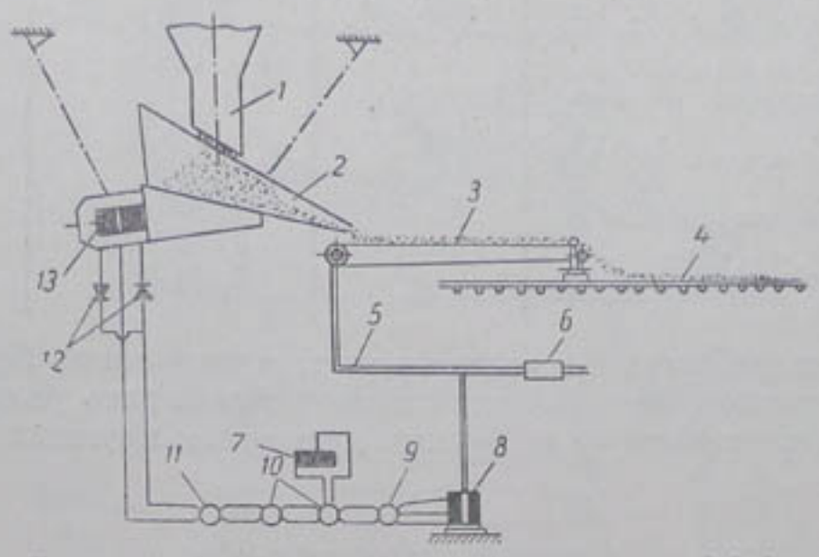


Рис. 253. Схема весового дозатора модели С-313 для заполнителей:

1—течка; *2*—вибролоток; *3*—весовой транспортер; *4*—сборный транспортер; *5*—система рычагов; *6*—заданный груз; *7*—реостат задания; *8*—индуктивный датчик; *9*—фазочувствительный выпрямитель; *10*—усилитель напряжения; *11*—усилитель мощности (дроссель насыщения); *12*—выпрямитель; *13*—электромагнит.

Бетонный завод не имел собственного склада заполнителей и прямой связи с местами укладки бетона (грузил бетон в автосамосвалы), поэтому завод не был эффективно использован. Однако полученные результаты можно считать удовлетворительными: с 29 июля по 15 октября 1955 г. выдано 92,5 тыс. *м*³ бетонной смеси при 0,06% брака и максимальной достигнутой часовой производительности 139,5 *м*³/*час* за смену.

Однако отклонения от среднего веса изменялись для бетонной смеси, щебня, песка и цемента от 2 до 10%. Это было следствием неустойчивости регулировки весового механизма, а также изменения влажности песка и зависания материалов в бункере. Наилучшие результаты перемешивания достигались при пластичности бетонной смеси 6—8 *см* и вращении барабана со скоростью 18 *об/мин*.

Испытания образцов бетона на прочность дали положительные результаты, но была выявлена недостаточная однородность бетона по прочности, что впрочем было и у продукции завода прерывного действия.

Технико-экономические показатели работы завода непрерывного действия и рядом расположенного завода периодического действия с четырьмя бетономешалками по 2400 *л* показаны в таблице 44[1].

Опыт Куйбышевгидростроя говорит о том, что бетонные заводы непрерывного действия имеют ряд технико-экономических преимуществ по сравнению с заводами периодического действия и являются прогрессивными. Однако устройство их требует дальнейшей доработки и совершенствования.

Необходимо улучшить конструкцию дозаторов, обеспечить автоматическое регулирование расходов воды в зависимости от влажности заполнителей, дать надежное решение автоматического контроля за наполнением бункеров (расходных и готовой продукции). Наконец, завод непрерывного

---

[1] Е. Ф. Фрейгофер. Приготовление бетонной смеси на строительстве Куйбышевского гидроузла. Бюллетень научно-технической информации Госстройпроекта, М., 1958.

Таблица 44

Показатели	Единица измерения	Бетонный завод периодического действия	Бетонный завод непрерывного действия
Производительность завода:			
годовая	тыс. $м^3$	450	435
часовая	$м^3$	125	120
Строительный объем здания	$м^3$	5920	4680
Общий вес технологического оборудования	$т$	92,4	61,1
Установленная мощность электродвигателей	$квт$	213	150
Расход электроэнергии на 1 $м^3$ бетона	$квт \cdot ч$	1,40	1,33
Выработка на 1 человеко-день	$м^3$	16,6	18,6

действия должен работать и в зимнее время, к чему завод Куйбышевгидростроя не был приспособлен. Большой эффект может дать раздельное приготовление цементного теста со встречным движением крупных заполнителей.

Глава XVIII

ТРАНСПОРТИРОВКА БЕТОННОЙ СМЕСИ

§ 1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Для доставки бетонной смеси, изготовленной на бетонном заводе, к месту укладки (блоку) на строительных площадках применяются различные виды транспорта: железнодорожный (широкой и узкой колеи), автомобильный, ленточные транспортеры, кабель-краны, бетононасосы.

Доставка бывает непосредственно к месту кладки или с применением промежуточного механизма.

Сам процесс перегрузки для бетонной смеси не представляет какой-либо сложности, но каждая перегрузка связана с расслоением бетонной смеси и потерей времени, что отрицательно сказывается на качестве бетонной смеси.

Способ транспортировки должен обеспечивать быструю доставку бетонной смеси от завода к блоку и отсутствие ее расслоения в пути; первое требование объясняется необходимостью до начала схватывания бетонной смеси не только доставить ее в блок, но и разровнять и уплотнить ее.

На выбор рационального в технико-экономическом отношении типа транспорта влияют объемы и темпы бетонных работ, дальность транспортировки, высотное положение блоков и ряд других факторов. Немеханизированная транспортировка бетонной смеси в одноколесных и двухколесных металлических тачках емкостью 100—200 $л$, применяемая при небольших объемах бетонных работ, в настоящей главе не рассматривается.

§ 2. ТРАНСПОРТИРОВКА БЕТОННОЙ СМЕСИ АВТОМОБИЛЯМИ

Транспортировка бетонной смеси автосамосвалами с непосредственной разгрузкой ее в блоки применяется для подачи в распластанные части сооружения (понур, рисберма); разгрузка обеспечивается при помощи портативных мостиков (рис. 254), наиболее удобных в нижних частях гидросооружений. Над блоком устанавливается в зависимости от его размеров один или несколько балочных мостиков, опирающихся с одной стороны на опору вне блока (обычно это бетон ранее уложенного блока), а с другой—на металли-

ческие решетчатые колонны, оставляемые в бетоне. Автосамосвал по специально устраиваемому подъезду въезжает на мостик и выгружает бетонную смесь в любом месте вдоль прогонов между балками моста. К достоинствам

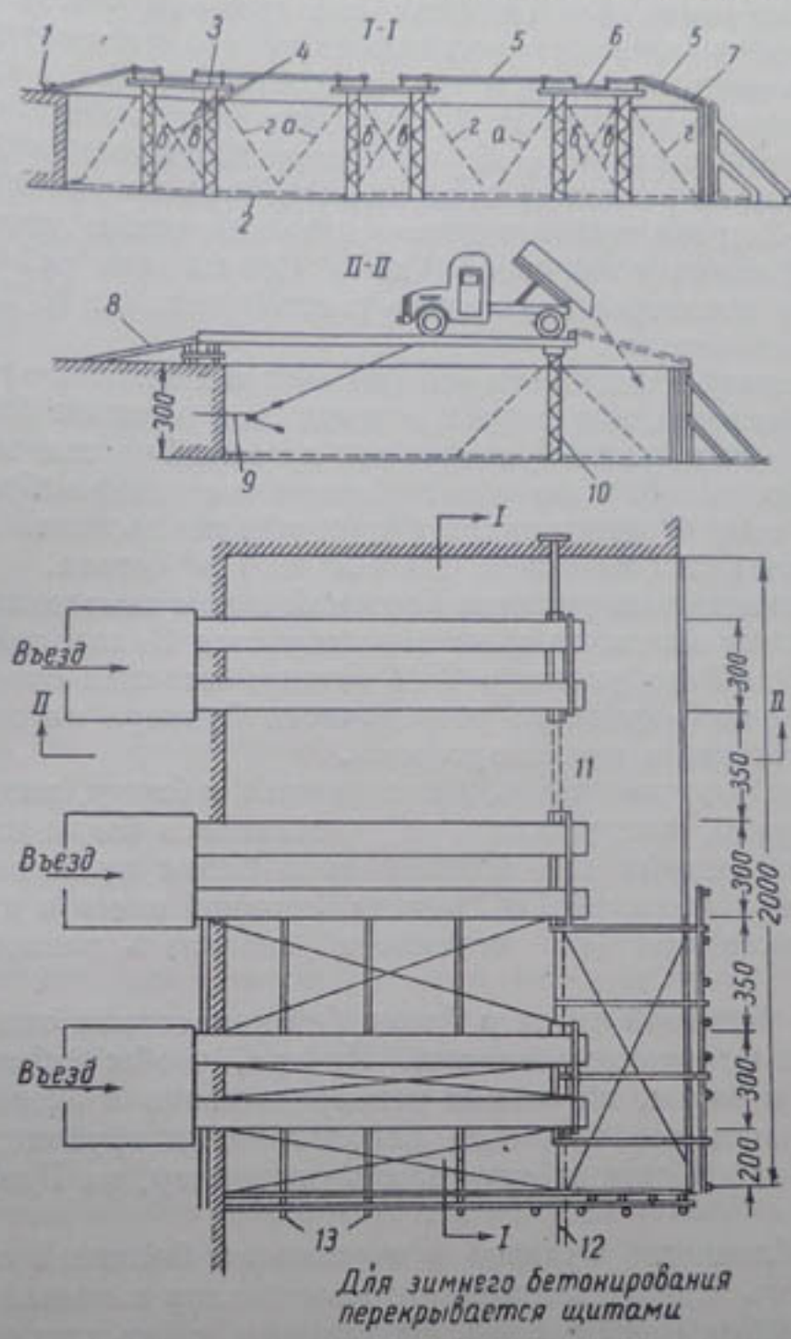


Рис. 254. Укладка бетона с применением портативных мостиков:

1—упорный штырь; *2*—нижняя арматурная сетка; *3*—брус; *4*—тяга; *5*—распорка из бруса; *6*—съемная связь; *7*—съемные щиты для зимнего бетонирования; *8*—брусчатый въезд или подсыпка грунта; *9*—анкеры плит водобоя; *10*—решетчатая колонна; *11*—распорка; *12*—подкос; *13*—балки под щиты.

портативных мостиков относятся: простота конструкций и возможность их применения на любых строительных площадках; б) высокая производительность и низкая стоимость укладки. Так, на строительстве одной гидростанции с помощью мостиков было уложено 30% бетона из общего объема 160 тыс. $м^3$; при одном мостике производительность в смену достигала 200 $м^3$ против 120 $м^3$ при подаче гусеничным краном в бадьях емкостью 1,6 $м^3$, загружаемых автосамосвалами. Если принять стоимость укладки бетона портативными мостиками за 100%, то стоимость укладки гусеничными кранами составила 170[1]%.

---

[1] С. М. Владимирский, В. М. Тарновский, М. А. Смарагинский. Укладка бетона портативными мостиками. «Гидротехническое строительство» № 3, 1953.

При бетонировании в зимних условиях балки мостика служат хорошей несущей конструкцией для шатра.

Широко применялись мостики при бетонировании рисбермы Волжской ГЭС; верхнее строение возвышалось над уровнем бетона на 0,2—0,3 *м*. Основным недостатком таких низких мостиков является трудность распределения бетонной смеси по блоку, а при невысоких блоках (до 1,5 *м*)—и затруднительность уплотнения бетонной смеси непосредственно под мостиками. Поэтому при бетонировании рисбермы Волжской водосливной плотины верхнее строение мостика располагали на отметке, превышающей верхнюю отметку блока на 1—2 *м*; это позволило применить наклонные лотки для распределения бетонной смеси по площади блока. Сокращение работ по перекидке вполне окупило некоторое повышение расхода металла (с 3,5 до 3,7 *кг* на 1 $м^3$ уложенного бетона).

Бетонирование блоков днища камеры шлюза Волжского гидроузла также производилось самосвалами с трех эстакад над каждым блоком; бетонная смесь разгружалась в десять бункеров под проезжей частью эстакады, откуда поступала в виброжелоба и далее по хоботам или с конца виброжелоба в блок. Максимальный темп бетонирования с трех эстакад достигал 156 $м^3/час$, расход металла составил 2 *кг* и леса 0,004 $м^3$ на 1 $м^3$ бетона.

Широко применялась укладка бетонной смеси самосвалами с инвентарных металлических мостиков и на строительстве Каховской гидростанции, где этим способом было уложено 23% бетона; бетонная смесь погружалась в автосамосвалы из 5-кубового раздаточного бункера на заводе, куда она подавалась ленточными транспортерами.

На ряде строек бетонная смесь, доставленная к блоку, над которым нельзя сделать эстакады, выгружалась из самосвалов в бадьи или ящики емкостью 1,6 $м^3$, из которых она подавалась в блоки кранами-экскаваторами Э-1003. По опыту Каховской ГЭС подача бетонной смеси в пределах первого яруса автосамосвалами по стоимости оказалась равной крановой подаче.

При подаче бетонной смеси в блоки бетононасосами она обычно доставляется к последним автосамосвалами. Иногда, чтобы избежать перегрузки бетонной смеси в бадьи, их ставят непосредственно в автомашины; однако в целях повышения коэффициента использования грузоподъемности автомашин от этого впоследствии отказались (например, на Цимлянском гидроузле).

Неприспособленность кузовов к перевозкам бетонной смеси и недостаточная надежность заднего затвора автосамосвалов вызывала большие потери бетона на Куйбышевгидрострое. Кроме того, смесь при перевозке уплотняется, а излишне пластический бетон расслаивается; поэтому выгрузка из машин производилась с помощью вибраторов или путем раскачивания автомашин толчками вперед—назад.

Чтобы не допускать расслоения бетона при перевозках, применяют автобетоноразвозки с цилиндрическим кузовом, в которых бетонная смесь при перевозках медленно перемешивается вращающимся валом с лопастями. Однако перевозки на большие расстояния занимают много времени, что резко сокращает остающееся до начала схватывания время на укладку и уплотнение уложенной бетонной смеси. Поэтому для больших расстояний и небольших объемов бетонных работ целесообразно применение автобетономешалок, в которых бетономешалка устанавливается на раме автомашины и приводится во вращение от ее двигателя. Автобетономешалка загружается на бетонном заводе сухой смесью, перемешивание с водой начинается за несколько минут до приезда к месту работ.

Промышленность выпускает автобетономешалки: С-224—на базе автомашины ЯАЗ-200 с полезной емкостью смесительного барабана 2400 *л* и С-306—на базе автомашины ЗИЛ-150 с барабаном емкостью 1600 *л*. Их целесообразно применять при бетонировании бетонных трубопроводов, мелких сооружений на мелиоративной сети, а также при разбросанных объектах

работ, получающих бетон от центрального завода. Дальность перевозки в автобетономешалках не лимитируется схватыванием бетона.

Для перевозки бетонной смеси самосвалами от завода к блоку, уменьшения ее расслоения и ускорения доставки целесообразно устраивать бетонные или асфальтобетонные дороги. При больших дальностях возки бетонная смесь уплотняется и время разгрузки увеличивается; на Свирьстрое при дальностях возки бетонной смеси 1, 2 и 5,3 *км* время разгрузки было соответственно 1, 1,7 и 3,4 *мин*[1].

На строительстве Цимлянского гидроузла от бетонных заводов к сооружениям были проложены дороги с каменным покрытием, оправдавшим себя в эксплуатации. Временные дороги без покрытий и подъезды к блокам в распутицу становились трудно проходимыми, что снижало производительность автотранспорта.

Стоимость перевозки 1 $м^3$ бетонной смеси автосамосвалами при дальности возки 2 *км* составила 6,7—7,1 руб., а мотопоездами с бадьями—6,4 руб.

Перевозка бетонной смеси автомашинами применяется в первоначальный период строительства, когда автодороги легко устраивать по дну котлована; по мере подъема сооружений автоперевозки бетона свертываются.

§ 3. ТРАНСПОРТИРОВКА БЕТОННОЙ СМЕСИ ЛЕНТОЧНЫМИ ТРАНСПОРТЕРАМИ

Ленточные транспортеры широко и успешно применялись для подачи бетонной смеси на строительстве канала Москва—Волга, Иваньковского, Рыбинского гидроузлов, Верхне-Свирской, Ортачальской и Мингечаурской гидростанций.

К достоинствам ленточных транспортеров следует отнести: 1) высокую производительность (до 100—200 $м^3/час$) и экономичность; 2) упрощение транспортной схемы в целом и отсутствие потребности в мощных кранах и подвижном составе для подачи бетонной смеси к месту укладки; 3) отказ в силу этого от необходимости устройства специальных тяжелых мостов и эстакад, так как легкий мост для транспортера можно опереть на заранее возведенные устои или промежуточные стены гидростанции, плотины; 4) сокращение сроков строительства.

Транспортерный транспорт имеет, конечно, и свои отрицательные свойства, часть которых можно устранить, так как они объясняются недостатками конструкции транспортеров, а нередко и недостаточной культурой производства работ.

К основным недостаткам ленточных транспортеров, как средства транспортировки бетонной смеси, относят обычно некоторое расслоение бетонной смеси при ее доставке, потери в пути цементного раствора и снижение консистенции.

Расслоение бетонной смеси происходит в результате толчков и ударов при набегании ленты на ролики и сбегании с них, а также при перегрузках.

Чтобы уменьшить расслоение, необходимо обеспечить тщательный монтаж транспортеров, хорошее натяжение ленты автоматическими (а не винтовыми) натяжными станциями, небольшие скорости движения ленты порядка 0,9—1 *м/сек*, расстановку рабочих роликов не чаще чем через 0,6 *м* для лент шириной 650—800 *мм* и 0,75 *м* для лент шириной 1000—1400 *мм*.

Недопустимо стыкование ленты внахлестку сыромятными ремешками или металлическими шарнирами, так как в этом случае резко ухудшается работа очистных устройств и происходит отслоение цементного раствора от смеси на оборотных барабанах. Стыкование лент должно выполняться склеиванием с последующей вулканизацией, или прессованием с применением специальных клеев.

---

[1] П. С. Непорожний. Из опыта строительства приплотинной гидроэлектростанции. Бетонные работы. Госстройиздат, 1954.

Для улучшения качества очистки следует применять вместо проволочных резиновые спиральные щетки; полезно, кроме того, ставить на отклоняющем барабане транспортера стальной скребок.

Для уменьшения перегрузок бетонной смеси в пути могут быть применены многоприводные транспортеры длиной до 700 *м* (рис. 255), а также освоенные нашей промышленностью ленты повышенной прочности с кордшнуровым

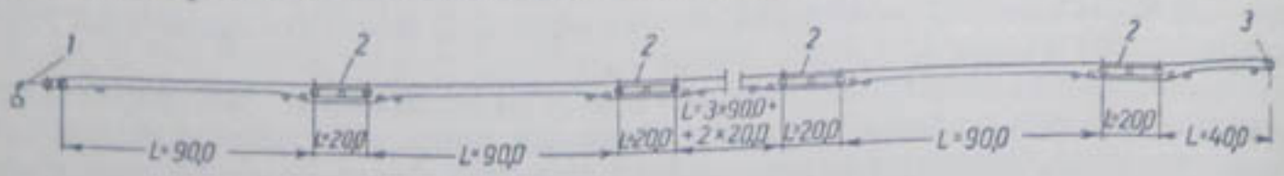


Рис. 255. Ленточный транспортер длиной 700 *м* с вспомогательными приводами:
1—натяжная станция; *2*—вспомогательный привод; *3*—головной привод.

приводом (прочностью 120 *кг/см* против 60 *кг/см* для обычной ленты) и с каркасом из стальной сетки и стальных тросов прочностью до 1000 *кг/см*[1]. Применяя такие ленты, можно увеличить длину секции транспортера в 2—4 раза и довести ее до 1000 *м*.

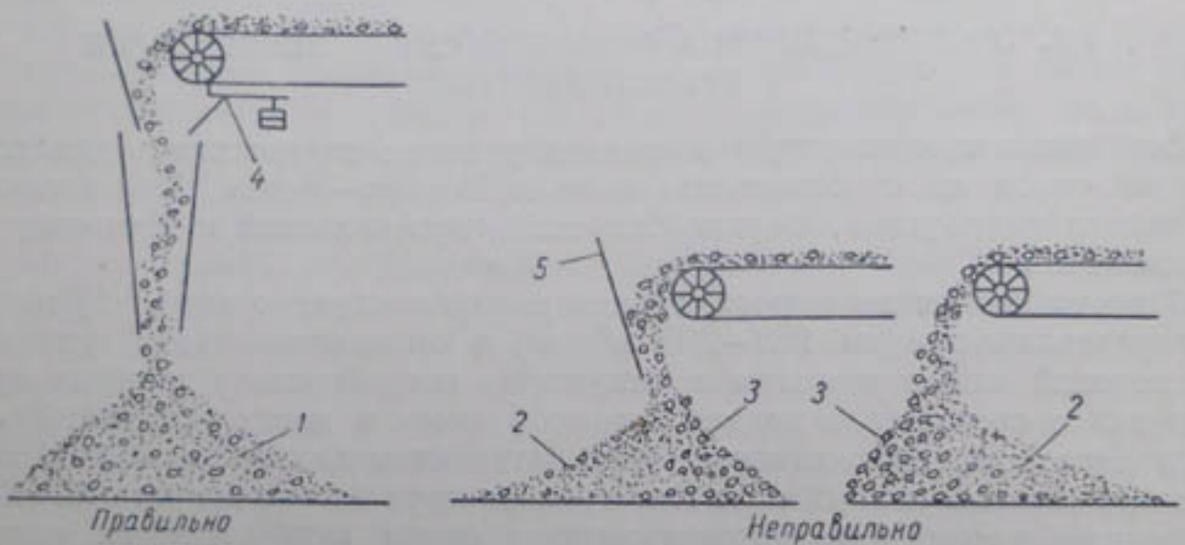


Рис. 256. Перегрузочный узел для транспортировки бетонной смеси:
1—бетонная смесь; *2*—раствор; *3*—крупные куски; *4*—скребок; *5*—отбойный щит.

Обычные роликовые опоры на шарикоподшипниках с войлочным уплотнением легко засоряются и засасывают пыль, вследствие чего сопротивления их сильно возрастают, а срок службы резко сокращается. Применение лабиринтового уплотнения и улучшение смазки значительно снижают сопротивления и, следовательно, дают возможность увеличения длины транспортерных секций.

Для уменьшения расслоения при перегрузках ставят узлы, показанные на рисунке 256.

Для уменьшения расползания бетонной смеси по ленте ее лоток должен быть возможно более глубоким, для чего угол наклона крайних роликов желательно увеличить с 20 до 25—30°.

Нередко лента загружается прямо из бункера через затвор или лоток, которым перекрывается отверстие. Такой способ загрузки недопустим, так как он не обеспечивает непрерывного потока на ленте слоя достаточной толщины (20—30 *см*). При стряхивании ленты на роликах происходит распад тонкого прерывистого слоя и потеря в пути свободной, не связанной воды. Поэтому бетонную смесь на ленту надо подавать питателем.

Для защиты бетонной смеси от солнца, ветра, дождей и морозов ленту следует помещать в галереях, отапливаемых зимой. При промежуточной

---

[1] Г. Д. Петров и И. Я. Коган. Бетонотранспортные конвейеры. «Механизация строительства» № 7, 1951.

разгрузке ленты не следует применять обычные плужковые сбрасыватели, так как под нижней полоской резины, а особенно при ее износе, проскальзывает раствор (до 2,5%, по данным П. С. Непорожнего); поэтому для сбрасывания бетонной смеси следует применять сбрасывающие тележки барабанного типа, а на распределительных линиях—телескопический или челноковый транспорт.

По данным Г. Д. Петрова и И. Я. Когана, ленточные транспортеры являются одним из наиболее экономичных средств транспортировки бетонной смеси (табл. 45).

Таблица 45

Показатели	Единица измерения	Бетононасос С-252	Звеньевой транспортер Т-47
Производительность	$м^3/час$	20	100 при $v=1$ $м/сек$
Дальность транспортировки	$м$	250	240
Вес	$т$	8+12=20 (насос+бетоновод)	17,5
Мощность электродвигателей	$квт$	31,7	27,5
Удельная стоимость на 1 $м^3$ часовой производительности	%	100	13
Пластичность бетона	—	Не менее 7 $см$ осадки конуса	Жесткая

Стоимость ленты составляет до 50% стоимости транспортера, поэтому снижение стоимости транспортировки может быть достигнуто прежде всего в результате увеличения срока службы лент. Для уменьшения износа лент в местах ее загрузки следует сокращать до минимума высоту падения смеси на ленту и ставить сближенные роликоопоры с резиновыми бандажами.

Необходимо исключить возможность попадания на холостую часть ленты даже небольших зерен щебенки, для чего рамы транспортера должны иметь плотное защитное покрытие.

Следует также отказаться от боковых дефлекторных роликов, применяемых для центрирования ленты и вызывающих преждевременный износ ее боковых кромок. Вместо них нужно применять поворотные центрирующие опоры, устанавливаемые через 8—10 нормальных роликовых опор на верхней и нижней ветвях ленты. Как видно, многие из перечисленных мероприятий могут быть выполнены силами самих строителей.

Ленточные транспортеры используются для транспортирования бетонной смеси на многих гидростройках. При строительстве шлюза Верхне-Свирской гидростанции с объемом бетона около 400 тыс. $м^3$ широко применялась подача бетонной смеси ленточными транспортерами с лентами шириной 800 и 1000 $мм$[1].

Бетонная смесь (рис. 257) подавалась магистральными транспортерами *1*, расположенными на эстакаде по оси шлюза, и с нее направлялась самоходной сбрасывающей тележкой *3* в поперечные раздаточные транспортеры *2* длиной 20 и 14 $м$; последние были смонтированы на мостовой ферме вместе с приемными бункерами и пятью столиками с плужковыми сбрасывателями.

Бетон, снятый плужковыми сбрасывателями, направлялся через хобот в блок. Вес раздаточного транспортера 10 $т$; он без разборки переставлялся кабель-краном. На каждую линию хоботов приходилась полоса в 4 $м$, что давало возможность избежать перекидки хоботов. В блоки площадью 400 $м^2$

[1] П. С. Непорожний. Применение ленточных конвейеров при производстве бетонных работ Верхне-Свирской гидроэлектростанции. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 9, 1951.

и кубатурой 1400 $м^3$ бетонная смесь подавалась с интенсивностью 40—60 $м^3/час$, размер фракций крупных заполнителей составлял до 200 *мм*. Для приемки и укладки бетонной смеси в блоке работало 30 рабочих, а 10 рабочих обслуживало сбрасыватели поперечных транспортеров.

Стоимость транспортирования бетона (от бетонного завода) в блоки была от 4 руб. за 1 $м^3$ в первом ярусе до 8, 13 и 17 руб.—во втором, третьем и четвертом ярусах.

Доставка и укладка бетонной смеси в блоки обошлась дешевле других средств транспорта; стоимость подачи в блок башенными кранами обошлась 18—19 руб.[1]

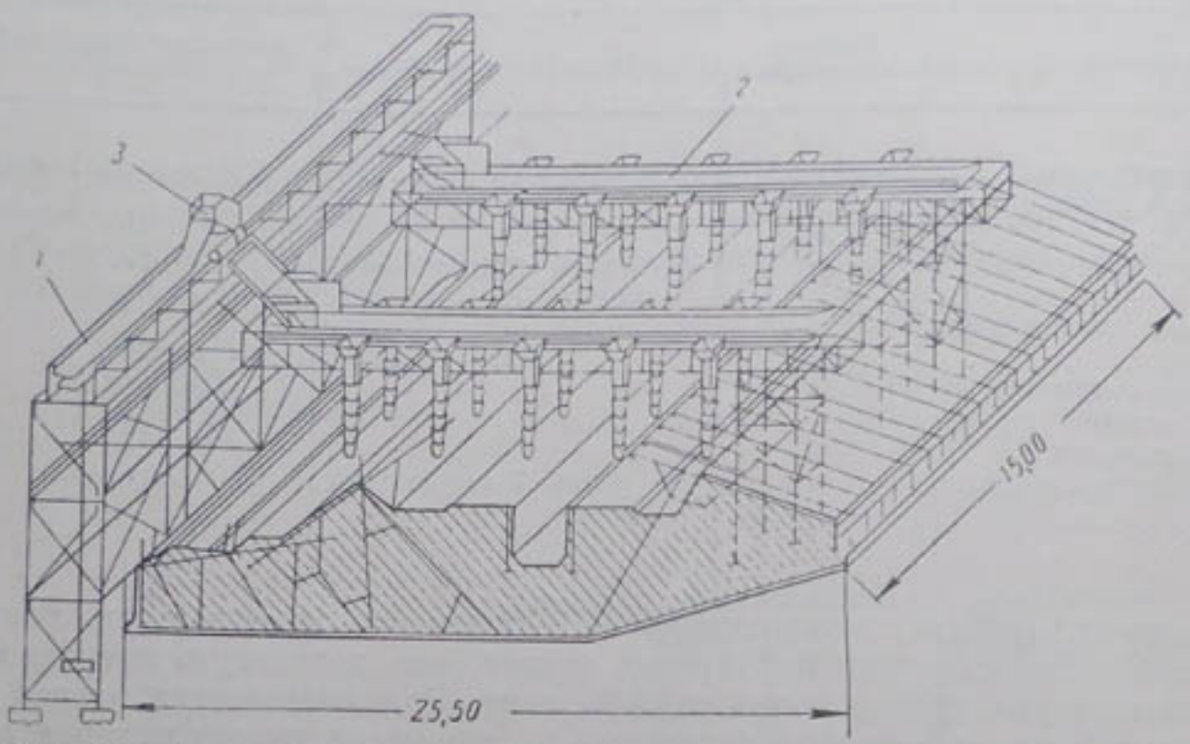


Рис. 257. Схема бетонирования блока первого яруса шлюза и расстановки хоботов:

1—магистральный транспортер; *2*—поперечные раздаточные транспортеры; *3*—самоходная сбрасывающая тележка.

Общие потери бетонной смеси равнялись в среднем 3,5—4%, из которых 0,4—0,5% составили потери на ленте по всей длине транспортера (282—380 *м*), 1—1,5% терялось в конец транспортера и 2—2,5% составляли потери в связи с неравномерным снятием бетонной смеси плужковыми сбрасывателями и попаданием смеси в конец распределительной эстакады.

Часть раствора, терявшаяся по длине ленты, собиралась рабочими и вновь поступала на ленту. В конце транспортера раствор собирали в бункеры и употребляли в дальнейшем для приготовления строительных деталей. По расчетам П. С. Непорожнего, необходимо при транспортерной доставке добавлять в бетон дополнительно 10—15 *кг* цемента на 1 $м^3$ бетона для компенсации указанных потерь. По-видимому, при учете сделанных ранее рекомендаций эти добавки могут быть серьезно сокращены или даже вовсе ликвидированы, как это было на Мингечаурстрое. На основе проделанной работы П. С. Непорожний приходит к выводу, что размер гравия не должен превышать 80 *мм*. Указанные выводы не подтверждаются, однако, практикой и исследованиями строительства Ортачальской гидростанции[2], где применялся гравий крупностью до 150 *мм*, а бетонная смесь с осадкой конуса 2,5—5 *см* подавалась лентой шириной 500 и 650 *мм*, помещенной в крытых галереях длиной до 300 *м*, при высоте подачи 25 *м*.

---

[1] П. С. Непорожний. Из опыта строительства приплотинной гидроэлектростанции. Бетонные работы. Госстройиздат, 1954.

[2] И. Д. Бетакели и др. Применение ленточных транспортеров для перемещения бетонной смеси. «Гидротехническое строительство» № 8, 1953.

Бетонная смесь транспортировалась непрерывным потоком толщиной 60—70 *мм*, скорость движения ленты была 1 *м/сек*; она сохранялась одинаковой во всех секциях, что оказалось необходимым для предупреждения расслоения смеси. При перегрузках, не превышающих 4 *м* по высоте, ставились металлические лотки с направляющими пластинками, расслоения на наблюдалось. Однородность смеси сохранялась, а кубиковая прочность на разных расстояниях от бетонного завода изменялась незначительно. Несмотря на высокую температуру (до 38°), свободная вода терялась лишь в незначительном количестве, а консистенция в конечной точке сохранялась в пределах, допустимых стандартом.

Максимальный подъем ленты составил 24—27°, а спуск 17°; не было ни одного случая сползания бетонной смеси. Срок службы лент звеньевых транспортеров был 4500 часов, а передвижных 2000—2500 часов.

Сравнение показателей звеньевых транспортеров длиной 800 *м* и шириной ленты 500 *мм* с башенным самоходным краном СБК-2 грузоподъемностью 3—5 *т* показало, что стоимость транспортирования в первом случае была в восемь раз ниже, чем во втором, расход электроэнергии в пять раз меньше, стоимость монтажа в 30 раз меньше, расход металла в 20 раз меньше, а расход рабочей силы в три раза ниже. Эти цифры показывают, что по всем показателям на строительстве Ортачальской ГЭС преимущество осталось за ленточными транспортерами. Потери раствора были совершенно незначительными.

На строительстве Мингечаурской гидростанции, где было уложено 900 тыс. $м^3$ бетона, не менее 750 тыс. $м^3$ было подано в блоки ленточными транспортерами непосредственно с бетонного завода[1]. Длина подачи бетонной смеси достигала 730 *м*, а средняя интенсивность подачи 1500 $м^3/сутки$, дозировка бетонной смеси производилась без какой-либо скидки на транспортерную подачу. Ввиду недостатка на строительстве крупного заполнителя применялся окатанный материал крупностью до 70 *мм*, делившийся на две фракции,—5—20 и 20—70 *мм*. Транспортеры крепились к несущим армоконструкциям на командной высоте.

Бетонная смесь выдавалась с завода на магистральные транспортеры с лентой шириной 800 *мм*, подававшие ее вдоль сооружения. Затем бетонная смесь передавалась на поперечные транспортеры с лентой шириной 800 *мм*, а с них поступала на катучие распределительные транспортеры с лентой шириной 500 *мм*. С катучих транспортеров бетонная смесь сбрасывалась в блок по подвешенным с обеих сторон через 5 *м* хоботам с высоты до 17 *м*.

Практика Мингечаурстроя показала экономичность и удобство подачи бетонной смеси ленточными транспортерами. Для контроля качества бетона в массиве были пробурены 219 скважин общей длиной 1971 *м*; нагнетание под давлением 2 и 5 *атм* показало незначительное водопоглощение (от 0 до 0,001—0,002 *л/мин* на 1 *м*), тогда как цементация требуется лишь при водопоглощении 0,05 *л/мин* на 1 *м*. По заключению специальной комиссии, качество бетона во всех блоках было хорошее, бетон плотный, строительные швы водонепроницаемы.

Весьма положительные результаты применения ленточных транспортеров для подачи бетонной смеси на строительстве Ортачальской и Мингечаурской гидростанций показывают, что при надлежащей организации работ применение ленточных транспортеров, устанавливаемых на автоконструкциях, позволяет вести бетонные работы индустриальным способом, экономично, с минимальными затратами времени на подготовительные работы и, следовательно, с ускорением сроков окончания гидроузлов (по сравнению, например, с бетоновозными эстакадами).

Ленточные транспортеры имеют и сейчас распространение на гидростройках. Так, с помощью их уложено на Волжской ГЭС 13% всего бетона, а на шлюзах 30%; на Волгодонстрое ими подано 453 тыс. $м^3$ бетонной смеси

---

[1] В. Е. Доманский. Основное в производстве бетонных работ на строительстве Мингечаурской ГЭС. Оргэнергострой, Куйбышев, 1957.

(15,3 % от общего объема). На Волгодонстрое ленточные транспортеры особенно широко применялись при строительстве шлюзов (26% от общей кубатуры бетона). При бетонировании днищ шлюзов в пределах каждого блока укладывались две легкие эстакады для транспортеров, а при бетонировании стенок камер и устоев голов шлюзов транспортеры обычно устанавливались на заранее смонтированные армоконструкции.

§ 4. ПОДАЧА БЕТОННОЙ СМЕСИ В БЛОКИ ПОРТАЛЬНЫМИ КРАНАМИ И ВИБРОХОБОТАМИ С БЕТОНОВОЗНЫХ ЭСТАКАД

Подача бетонной смеси в блоки плотин и гидростанций с бетоновозных эстакад портальными кранами и виброхоботами являлась основным способом подачи бетона на Цимлянском, Волжском, Каховском, Кайрак-Кумском

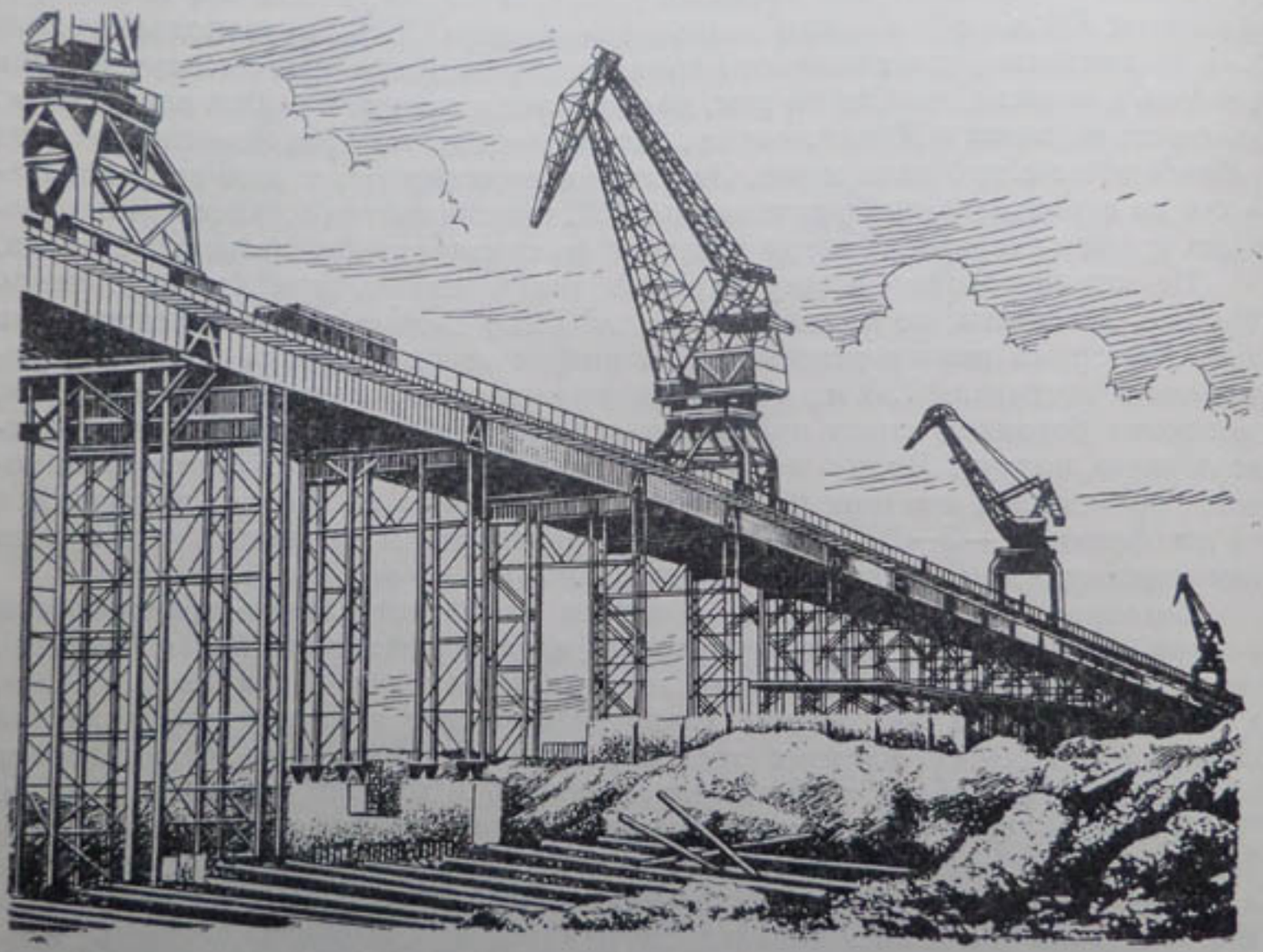


Рис. 258. Общий вид бетоновозной эстакады Сталинградского гидроузла.

и других гидроузлах. Бетоновозные эстакады (рис. 258) представляют собой обычно крупные сооружения, для постройки которых необходимо значительное количество времени и много металла (в последнее время их начали строить из железобетона).

Эстакады обслуживаются 10-тонными портальными кранами с вылетом в 30 и 40 *м*, снимающими с поезда бадью и разгружающими ее в блок.

Бадьи доставляются мотовозами, тянущими одну платформу с несколькими бадьями. При подаче бетона в близко расположенные к эстакаде блоки бадьи разгружаются через виброхоботы, на что требуется меньше времени, чем при разгрузке кранами.

Портальные краны на эстакаде не могут, в силу ограниченности их вылетов, уложить весь объем бетона в плотину и ГЭС, поэтому приходится пользоваться дополнительными кранами и другими средствами доставки в блок бетонной смеси; в проектах строительства некоторых ГЭС намечено устройство двух эстакад.

Металлическая бетоновозная эстакада для бетонирования плотины и гидростанции Цимлянского гидроузла высотой 21—24 *м* имела длину около 650 *м*, на ее постройку израсходовано 3442 *т* металла. Монтаж ее длился около четырех месяцев. Эстакада строилась значительно дольше, так как прежде всего выполнялись работы по постройке фундаментов под опоры, начинавшиеся с устройства иглофильтровых установок для осушения их котлованов. Фундаменты опор были заложены ниже основания сооружений, готовность их определяла возможность начала монтажа опор. Полная длина кольца, в который входила и эстакада, составляла 4,2 *км*.

Бетонная смесь доставлялась поездами, состоявшими из мотовоза и одной железнодорожной платформы грузоподъемностью 40—60 *т*, на которую ставили либо 3—4 бадьи емкостью 3 $м^3$ (вес одной груженой бадьи 8,9 *т*), либо специальные бункеры емкостью 23,4 $м^3$ весом в груженом состоянии 58,4 *т*. Бадьи, в зависимости от места разгрузки, снимались кранами, либо опоражнивались непосредственно в бункеры, а из бункеров по виброхоботам—в блок. Средняя интенсивность подачи бетонной смеси по бетоновозной эстакаде составляла около 1700 $м^3/сутки$, средняя стоимость доставки 1 $м^3$ бетонной смеси при дальности возки в грузовом направлении около 2 *км* была 6 руб. 50 коп., а стоимость подачи смеси в блоки портальными кранами изменялась от 3 руб. 03 коп. до 5 руб. 45 коп.

На Куйбышевгидрострое длина металлической бетоновозной эстакады высотой 40 *м* составляла 897 *м*. Эстакада строилась около года, на нее израсходовано 5,4 тыс. *т* металла. С бетоновозной эстакады портальными кранами и виброхоботами было подано 1316 тыс. $м^3$ бетонной смеси, или 40% от общей кубатуры гидростанции, равной 3,2 млн. $м^3$; кроме того, по эстакаде подавалась арматура здания ГЭС, плиты-оболочки и др. Транспортировка бетонной смеси осуществлялась поездами из мотовоза с одной железнодорожной платформой, на которой было установлено четыре бадьи емкостью по 3 $м^3$. Бетоновозная эстакада обслуживалась девятью портальными стреловыми 10-тонными кранами.

Максимальная интенсивность подачи бетонной смеси по эстакаде составляла 4242 $м^3/сутки$, средняя стоимость подачи в блок бетонной смеси виброхоботами—5 руб. за 1 $м^3$.

Бетоновозная металлическая эстакада водосливной плотины Волжской ГЭС имела длину 1372 *м* (с подходами) и высоту 27,4 *м*. Она обслуживалась девятью портальными стреловыми 10-тонными кранами. Бетонная смесь подавалась железнодорожным транспортом и автосамосвалами со средней интенсивностью, равной 3166 $м^3/сутки$.

§ 5. КРАНЫ ДЛЯ УКЛАДКИ БЕТОННОЙ СМЕСИ. БАДЬИ. ВИБРОХОБОТЫ

На бетоновозных эстакадах для подачи в блок бетонной смеси, тяжелых грузов, армоферм, армопакетов и пр. монтируются портальные стреловые краны грузоподъемностью 10 *т* (рис. 259), а для легких грузов (плит-оболочек и др.) грузоподъемностью 3 *т*.

Наша промышленность выпускает 10-тонные портальные краны ГР-331 и ГР-329 грузоподъемностью 10 *т*, с вылетом стрелы 7,5—30 *м* и полной высотой подъема 45 *м*; кран ГР-15 грузоподъемностью 7,5 и 10 *т* при вылетах 40 и 30 *м* с полной высотой подъема 65 *м*; краны ГК-323 и ГК-302 грузоподъемностью 3 *т* с вылетом стрелы 6—22 *м* и полной высотой подъема 35 *м*.

Портальными кранами называются свободно стоящие полноповоротные стреловые краны, установленные на жестком, передвигающемся по рельсам П-образном помосте—портале. Эти краны получили широкое распространение при производстве различных строительных работ. 10-тонный портальный кран с вылетом стрелы от 7,5 до 30 *м* показан на рисунке 259.

Опыт применения 10-тонных портальных кранов на Куйбышевгидрострое показал, что они ограничивали применение укрупненных армоконструкций

и сборного железобетона; поэтому грузоподъемность таких кранов должна быть увеличена путем усиления отдельных узлов, а при сохранении грузоподъемности стрела может быть удлинена, чем увеличивается радиус действия крана.

Серьезной помехой в работе кранов с эстакады служит и то, что крановщик из будки подчас не видит рабочего места; поэтому ему помогают «сигналисты», и он только «подает» груз, а другой кран с меньшим вылетом, но расположенный вблизи места работ устанавливает его в требуемом положении.

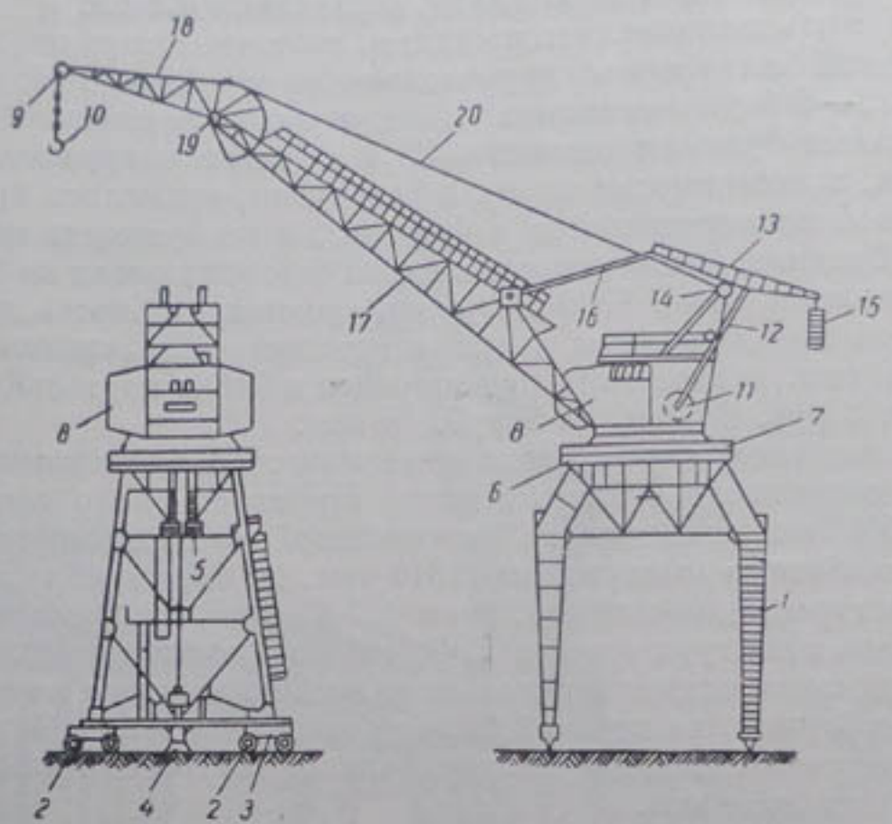


Рис. 259. Общий вид портального крана $Q=10$ *т*, $R_{max}=30$ *м*:

1—портал; *2*—ходовые тележки; *3*—электродвигатели передвижения; *4*—противоугонное устройство; *5*—электродвигатель рельсовых захватов; *6*—цевочный венец; *7*—поворотная платформа; *8*—машинное отделение; *9*—подъемный трос; *10*—блок грузового крюка; *11*—кривошип; *12*—тяги; *13*—коромысла; *14*—ось коромысел; *15*—противовес; *16*—жесткие шарниры; *17*—стрела крана; *18*—хобот стрелы; *19*—ось вращения хобота; *20*—оттяжки.

Для устранения этой помехи нужно вынести кнопочное управление краном из будки и поместить машиниста рядом с кнопочным ящиком, или снабдить краны простейшими телевизорами.

Поэтому наряду с портальным краном в зоне действия эстакады используются башенные краны (большой и малой грузоподъемности), гусеничные краны-экскаваторы и краны-укосины.

Большегрузные башенные краны, в том числе и самомонтирующиеся, применяются для монтажа армоконструкций и сборного железобетона, а малые краны—для монтажа плит-оболочек и штучной арматуры, а также для подачи хоботов, трубопроводов и др. Серийно выпускаются башенные краны БКСМ-5 грузоподъемностью 1—2 *т* при вылетах стрелы 20—10 *м* и высоте подъема крюка от головки рельса 35—21 *м*; кран СБК-1 грузоподъемностью 1,5—3 *т* при вылетах стрелы 20—5 *м* и высоте подъема крюка 43—27 *м*. Кроме того, по заказу выпускаются кран БК-10-48 (рис. 260) грузоподъемностью 3—10 *т* при вылетах стрелы 20—8 *м* и высоте подъема крюка 54,5—34 *м* и кран УКБ-15-49 грузоподъемностью от 7 до 15 *т* при вылетах от 36,8 до 19 *м*, наименьшем вылете 4,5 *м* и высоте подъема от основания крана 44 *м*. Башенный самомонтирующийся кран УБК-502 (рис. 261) выпускается малосерийно грузоподъемностью 5 *т* с вылетом стрелы 3—37,5 *м* при наибольшей

высоте подъема 34,4 *м*. Кроме того, Лопасненский завод МСЭ изготовляет кран БК-405 грузоподъемностью 15 *т* с вылетом 8—36 *м* и 40 *т*—с вылетом до 15 *м*; наибольшая высота подъема груза 74,5—41,5 *м*.

Б а ш е н н ы м и к р а н а м и называют все краны, имеющие башню, благодаря которой обеспечивается необходимая высота подъема груза; изменение ее достигается, как и у всех стреловых кранов, изменением угла наклона стрелы. Увеличение высоты подъема влечет за собой уменьшение вылета.

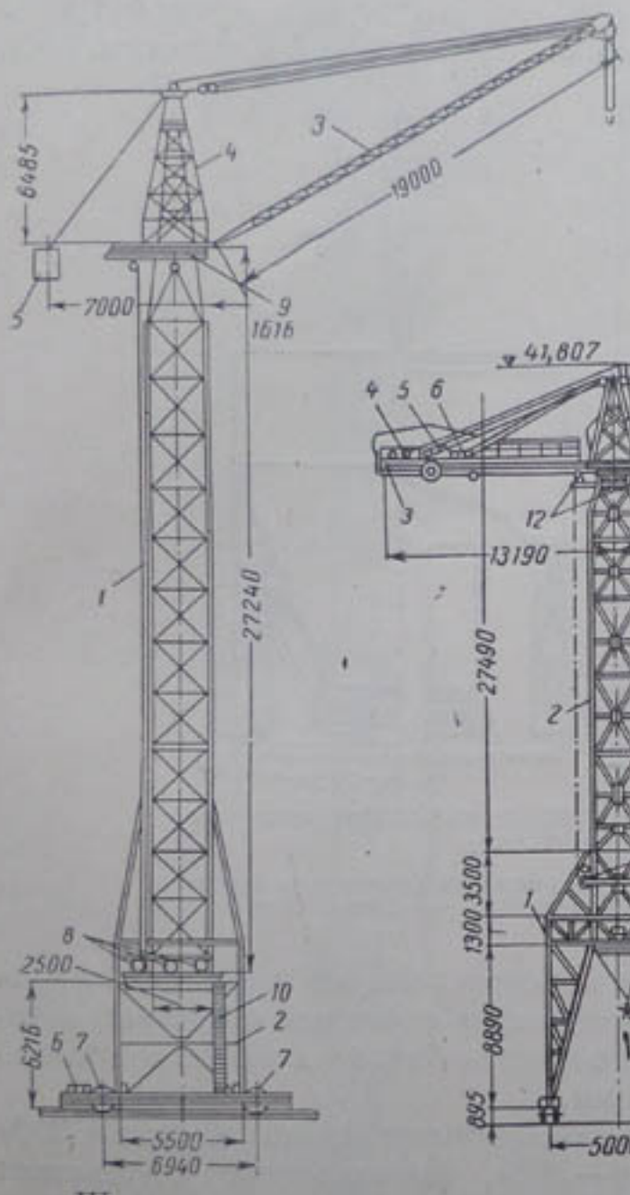


Рис. 260. Башенный кран БК-10-48 грузоподъемностью 3—10 *т*:

1—башня; *2*—портал; *3*—стрела; *4*—поворотная головка; *5*—противовес; *6*—механизм передвижения; *7*—ходовое колесо; *8*—лебедка; *9*—поворотный круг; *10*—лестница.

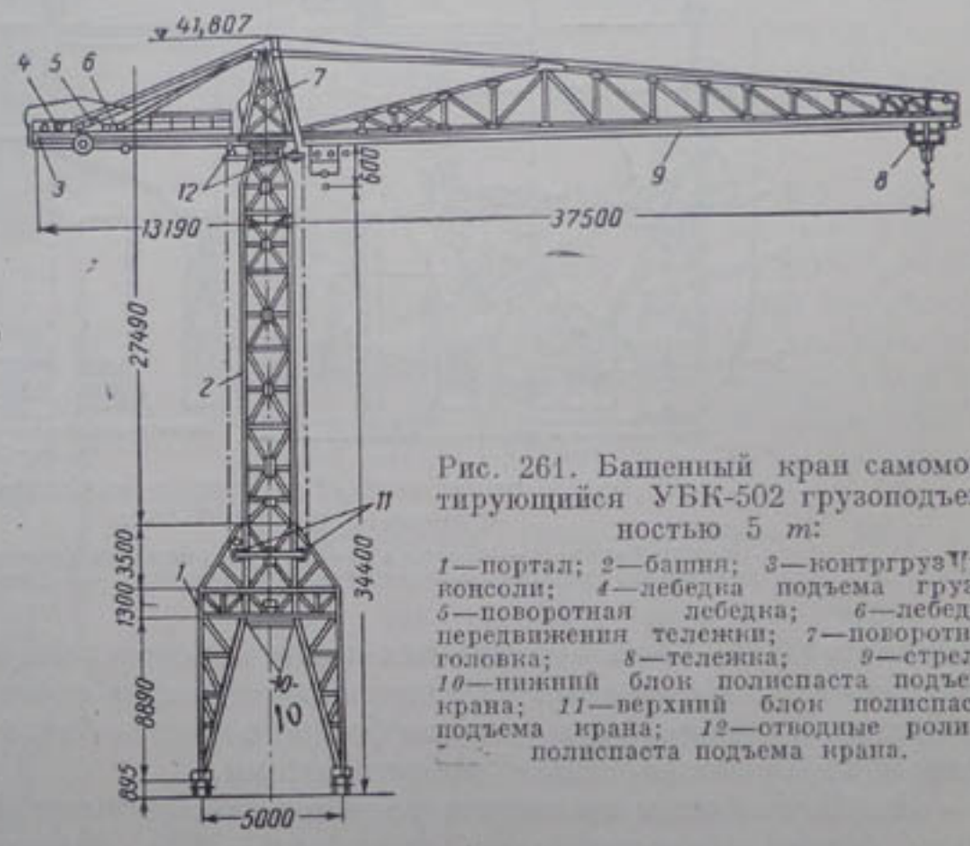


Рис. 261. Башенный кран самомонтирующийся УБК-502 грузоподъемностью 5 *т*:

1—портал; *2*—башня; *3*—контргрузы на консоли; *4*—лебедка подъема груза; *5*—поворотная лебедка; *6*—лебедка передвижения тележки; *7*—поворотная головка; *8*—тележка; *9*—стрела; *10*—нижний блок полиспаста подъема крана; *11*—верхний блок полиспаста подъема крана; *12*—отводные ролики полиспаста подъема крана.

Широко применяются на гидростройках гусеничные краны, переоборудованные из однокубовых экскаваторов, краны Э-1003 и Э-1004 со стрелами 13 и 23 *м* и наибольшей грузоподъемностью соответственно 15 и 8 *т*, краны Э-1252 со стрелами 12,5; 20 и 25 *м*, наибольшей грузоподъемностью соответственно 20, 9 и 7 *т*, а также краны Э-2001 со стрелами 15 и 40 *м* с наибольшей грузоподъемностью соответственно 50 и 12 *т*.

Эти краны работают на нижних ярусах с земли при подаче бетонной смеси автосамосвалами с выгрузкой в бадьи емкостью 1,6 $м^3$ (вес порожней бадьи 1 *т*). На строительстве Цимлянского гидроузла гусеничные краны применялись для подачи бетонной смеси в блоки первого яруса фундаментных плит плотины и ГЭС, понура, водобоя и рисбермы, подпорных стенок; наилучшие условия работы кранов были при бетонировании блоков водобоя и рисбермы, имевших небольшую высоту 1,5—3 *м*, так как время на операции крана было сведено к минимуму. Достоинство кранов на гусеничном ходу состоит в высокой маневренности, а недостаток—в относительно небольшой дальности подачи грузов.

Выпускаемые Воронежским заводом гусеничные краны грузоподъемностью 25 *т* со стрелой 50 *т* позволяют значительно расширить применение гусеничных кранов. На строительстве Цимлянского гидроузла суточная

производительность гусеничных кранов изменялась от 150 до 565 $м^3$; они вытеснили мелкие портальные краны (3-тонные), козловые краны и вантовые деррики.

Фактическая производительность гусеничных кранов оказалась выше, чем портальных кранов (наибольшая суточная их производительность 400—570 $м^3/см$), хотя проектная производительность последних была вдвое выше, чем гусеничных. Это объясняется тем, что пролеты между арматурными фермами высотой 5,3—6 $м$ оставлялись шириной 2,05—2,5 $м$ и, вследствие раскачивания троса, на котором спускалась 3-кубовая бадья шириной 1,81 $м$, попасть в эти пролеты было очень трудно; поэтому пришлось подавать бетон

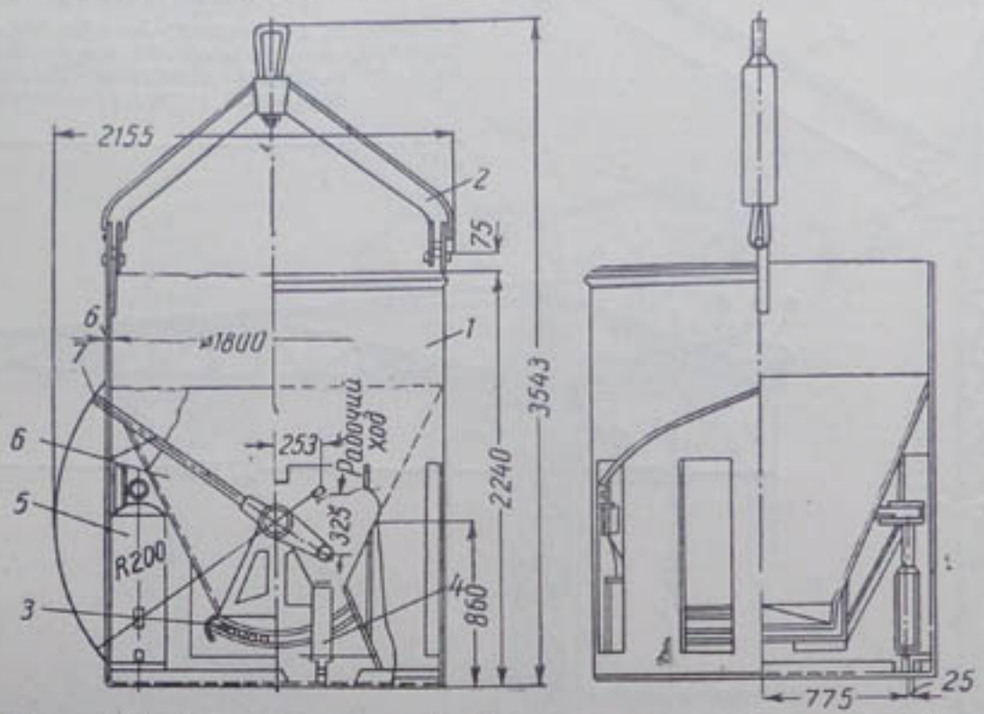


Рис. 262. Бадья емкостью 3 $м^3$ со шторно-роликовым затвором и пневмоприводом Т-103:

1—корпус бадьи; *2*—подвеска; *3*—шторно-роликовый затвор; *4*—пневматический привод; *5*—ресивер; *6*—воронка; *7*—ручной привод.

виброхоботами. Роль портальных кранов возрастала по мере повышения отметок забетонированных блоков и они сделались основным средством подачи бетонной смеси, когда укладка бетона подошла близко к эстакаде и стало невозможным пользоваться виброхоботами.

На Цимлянском гидроузле уложено гусеничными кранами свыше 30% всего бетона, безкрановыми способами—58%, портальными 10-тонными кранами—около 11% и портальными 3-тонными—0,5%.

Большой эффект дает использование гусеничного крана, устанавливаемого с помощью телескопического крана (в разобранном виде) на высокий бетонный массив. Этим способом достигается быстрота монтажа и удобство применения крана, размещенного на большой высоте.

Бадьи, виброхоботы. Портальные 10-тонные краны подают в блок бетон 3-тонными бадьями (рис. 262), либо виброхоботами (рис. 263).

У нас серийно выпускаются бадьи со шторно-роликовыми затворами Т-131Б, Т-130 и Т-103 полезной емкостью 1, 1,6 и 3 $м^3$; ширина бадей 1, 1,4 и 1,8 $м$, вес их 450, 994 и 1620 $кг$. Виброхоботом Т-165 бетонная смесь может опускаться на глубину до 40 $м$, внутренний диаметр его трубной секции 300 $мм$; на самом хоботе поставлено пять вибраторов И-7 (один на бункере и четыре на отводных лотках длиной 8 $м$). Вес с вибраторами равен 4,3 $т$.

Бетонную смесь на строительство Цимлянского гидроузла необходимо было опускать с эстакады с высоты 20—23 $м$ и подавать в стороны на 27—30 $м$; для этой цели применялись виброхоботы С-267. Предположение конструкторов о том, что виброхоботы будут сначала заполняться бетонной смесью, при закрытом затворе, а затем уже опорожняться не оправдались. Бетонная смесь при падении сильно спрессовывалась и в нижнем конце трубы

образовывалась пробка, препятствовавшая истечению бетонной смеси даже при открытом затворе, хотя вибраторы на хоботе непрерывно работали. Когда удавалось разрушить бетонную пробку, то вслед за ней из виброхоботов под большим давлением устремлялась мощная струя бетонной смеси, что было небезопасно для работающих в блоке. Поэтому строители отказались от использования затворов.

При падении с большой высоты бетонная масса увлекает за собой воздух, оказывается насыщенной им и вблизи виброхобота медленно поднимается и опускается, а при вибрировании дает заметную осадку; необходима поэтому тщательная проработка вибраторами поданной виброхоботами бетонной смеси.

Оттяжка виброхоботов происходит в основном за счет нижних, полого расположенных звеньев (рис. 264); при осадке конуса, равной 4—5 *см*, они закупоривались, и строители перешли на бетонную смесь с осадкой конуса 6—8 *см*.

Опыт строительства показал, что при заполнителях, крупность которых превышает 80 *мм*, наблюдались сводообразование и закупорка хоботов. Средняя производительность виброхоботов составляла на строительстве 25 *м*³/*час*. В зимнее время, несмотря на применявшееся утепление виброхоботов, работы могли вестись при температурах не ниже 10°.

Расслоение бетонной смеси[1]. При свободном падении по виброхоботу бетонной смеси с высоты 40 *м* скорость потока при выходе из концевого звена достигает, по расчетам инж. В. А. Заикина, 23 *м*/*сек*. При этом получается расслоение бетонной смеси, так как крупные частицы во время падения движутся быстрее мелких, а при выходе из

Рис. 263. Виброхобот Т-165:
1—отводные лотки; *2*—затвор (с механическим управлением); *3*—хобот; *4*—бункер.

[1] В. А. Заикин. К вопросу о применении виброхоботов в гидротехническом строительстве. «Гидротехническое строительство» № 5, 1957; В. М. Васильев. Опыт применения виброхоботов С-267. Там же, № 1, 1954.

устья звена, имеющего значительный угол с вертикалью (рис. 265), происходит рассортировка бетонной смеси по площади; более крупные частицы, имеющие бо́льшую скорость, отлетают дальше, чем мелкие. Кроме того,

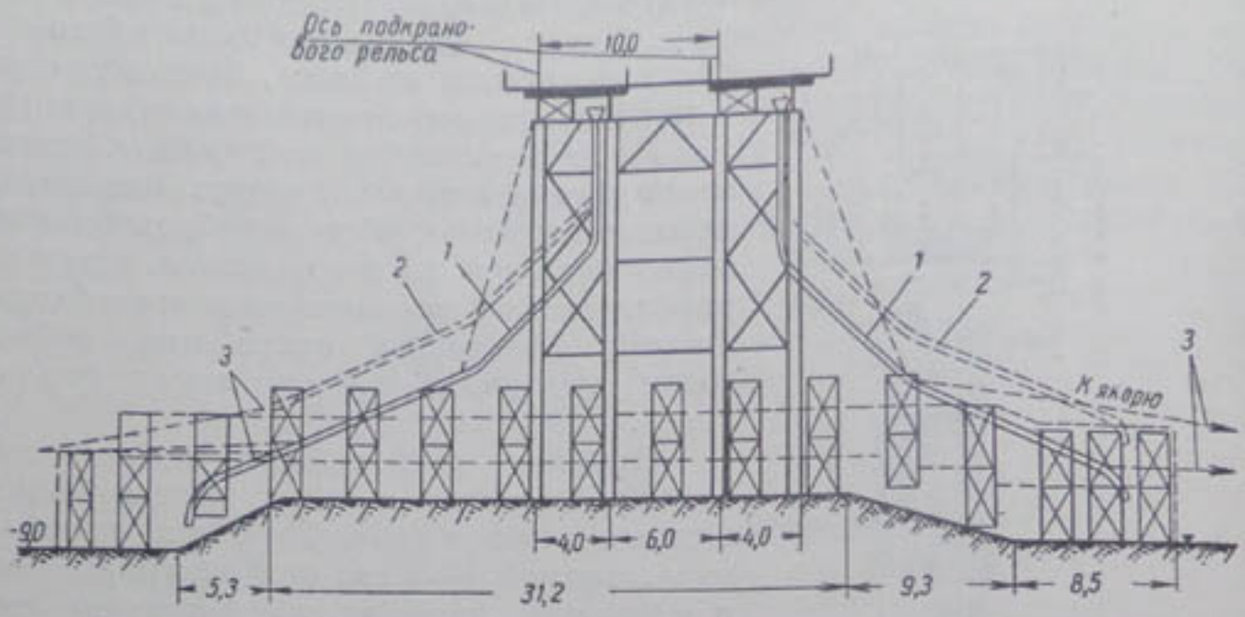


Рис. 264. Схема оттяжки виброхоботов при бетонировании плотины:
1—положение виброхобота при бетонировании крайних блоков первого яруса; *2*—положение виброхобота при бетонировании крайних блоков второго яруса; *3*—растяжки для раскрепления виброхобота.

крупные частицы глубже проникают в ранее уложенный слой, чем мелкие, в результате чего создается неравномерное распределение зерен заполнителей по высоте укладываемых слоев.

Скорости вылета бетонной смеси настолько велики, что в месте ее падения образуется не конус, а значительное углубление, от центра которого

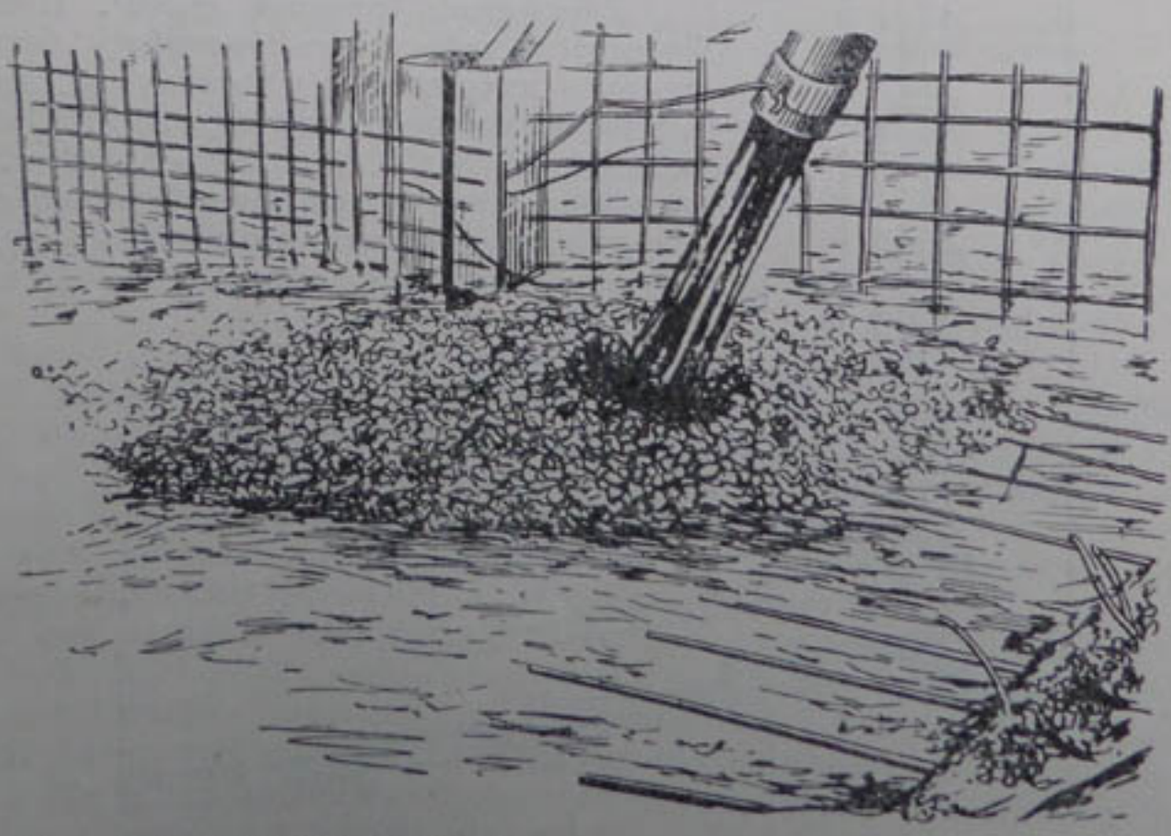


Рис. 265. Расслоение бетонной смеси при выходе ее из виброхобота без гасителей.

расходятся волны бетонной смеси. При этом лежащие ниже слои бетона пробиваются и перемешиваются, крупный заполнитель дробится и происходит расслоение бетонной смеси.

Как показали опыты, проведенные на Сталинградгидрострое, конус бетонной смеси не образуется только при опускании жесткой бетонной смеси

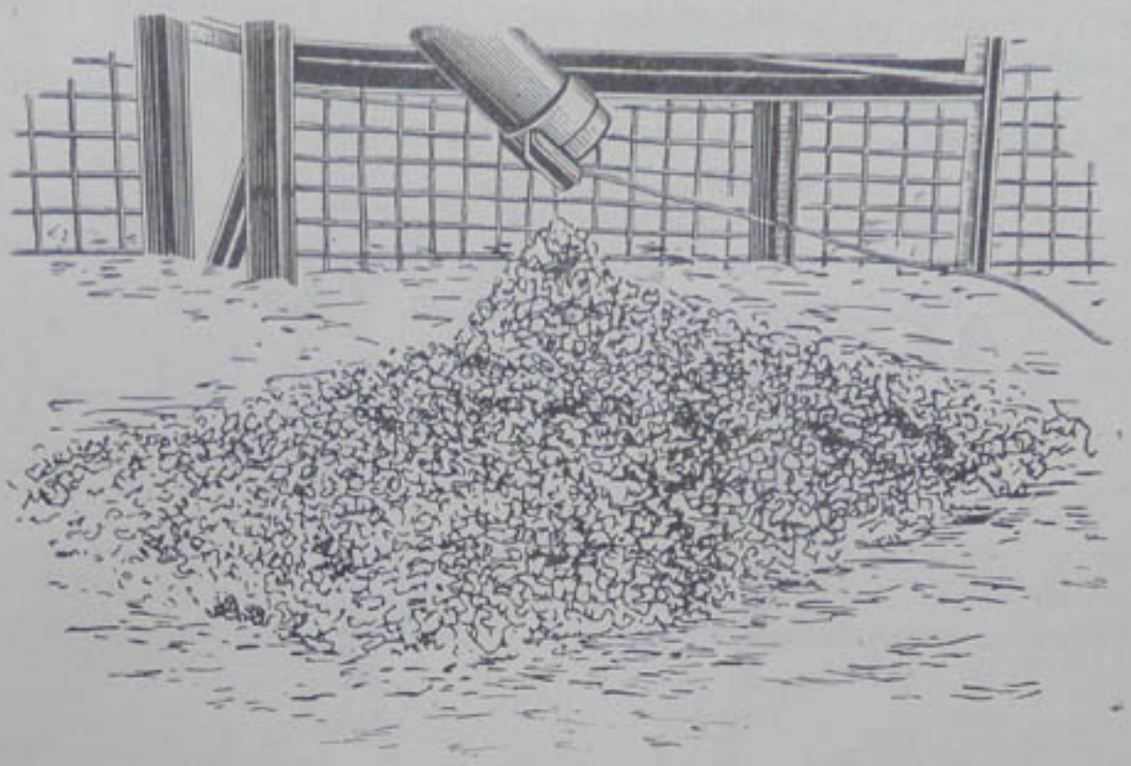


Рис. 266. Выход бетонной смеси из виброхобота с гасителями.

по виброхоботу с промежуточными гасителями (рис. 266). Даже при подаче бетонной смеси виброхоботами с гасителями процентное содержание крупных фракций в смеси на разных расстояниях от выхода из концевых звеньев оттянутых хоботов колеблется от 18 до 64%.

На основании изложенного можно прийти к выводу, что при существующих способах подачи бетона виброхоботами на значительное расстояние вниз происходит расслоение бетонной смеси, что конструкции виброхобота и его утепление в зимнее время еще не получили положительного разрешения.

Рационализация виброхоботов. Для гашения энергии потока ВНИИСтройдормаш предложил установить в виброхоботах промежуточные и концевые гасители-рассекатели (рис. 267); промежуточные гасители из трехгранных призм устанавливаются через 10 *м* в местном расширении виброхобота, причем сечение каждого из ответвлений равно сечению обычного звена виброхобота. Испытания на Куйбышевгидрострое и Сталинградгидрострое показали, что применение указанных гасителей дает возможность осуществлять подачу бетонной смеси без ухудшения ее качества. Скорость потока бетонной смеси

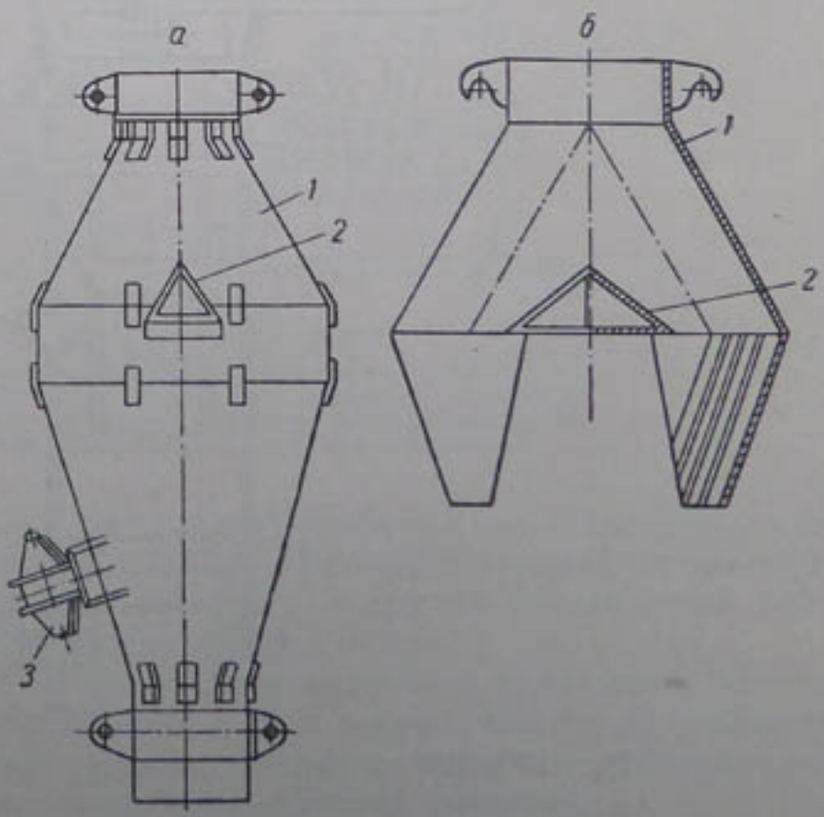


Рис. 267. Гасители-рассекатели скорости потока в виброхоботах:

а—промежуточный: *1*—корпус; *2*—рассекатель; *3*—вибратор. *б*—концевой: *1*—корпус; *2*—рассекатель.

не превышает 10 *м/сек*, периодически снижаясь после каждого гасителя до 3—4 *м/сек*. Примерно такая же скорость наблюдается и на выходе из концевого гасителя. Дальнейшее снижение скорости потока не вызывается необходимостью.

Для обогрева и теплоизоляции виброхоботов ВНИИСтройдормаш предложил и испытал паровоздушный обогрев в теплоизоляционных каналах

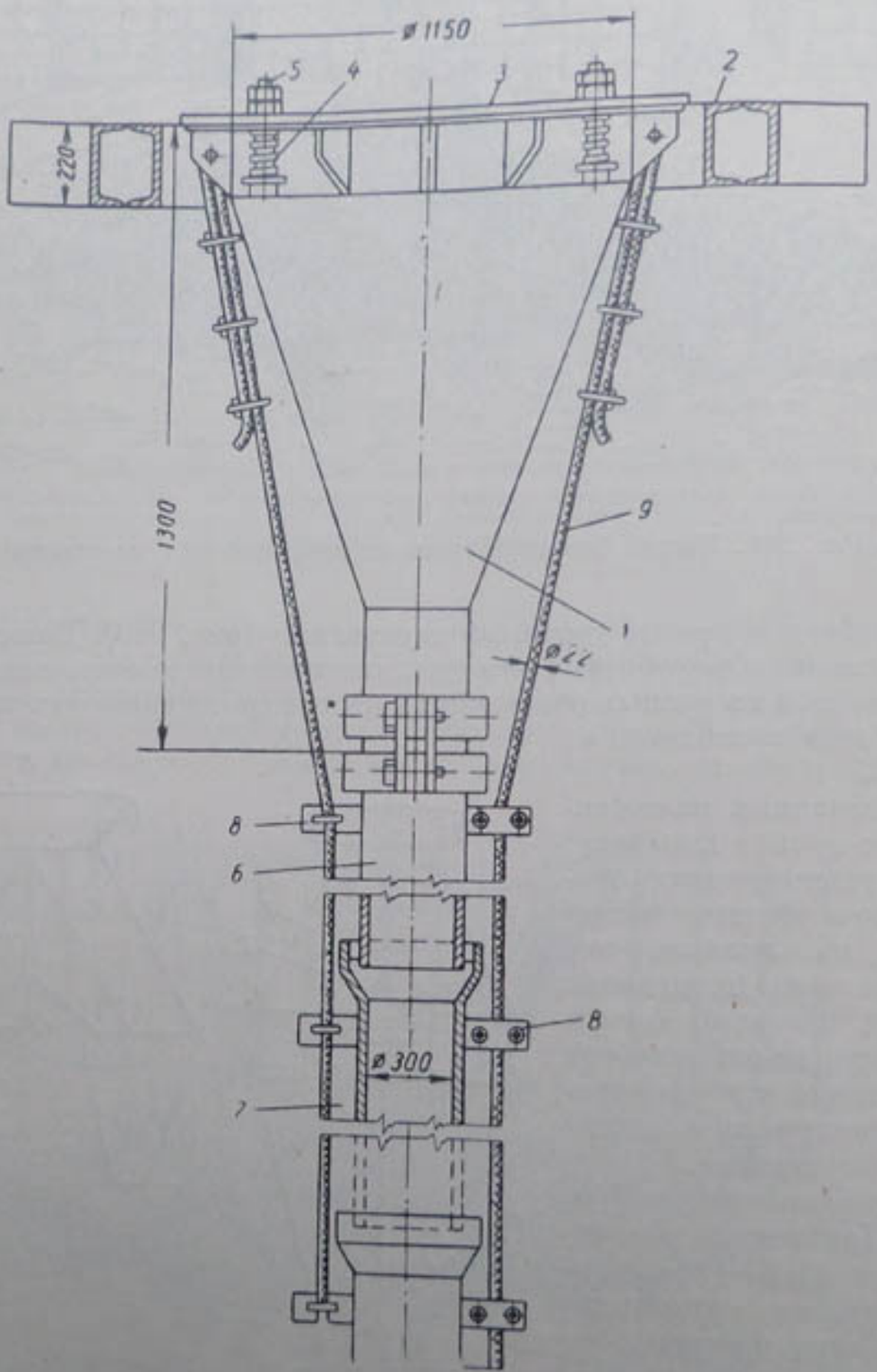


Рис. 268. Виброхобот ВХЭ конструкции ВНИИСтройдормаш:
1—укороченный бункер; *2*—рамка для крепления бункера и листам *3*; *4*—пружины; *5*—болты; *6*—первое звено виброхобота; *7*—второе звено; *8*—уши; *9*—несущий трос.

из строительного войлока, стеганных на парусине. На виброхоботе устанавливаются 3—4 звена с двойными стенками (паровыми рубашками). Пар под давлением 4—5 *атм* поступает в паровые рубашки и нагревает их стенки; нагретый воздух поднимается вверх и прогревает остальные звенья виброхобота. При расходе пара 25—30 *кг/час* стенки виброхобота через 1,5—2 часа нагреваются с —28 до +1°.

ВНИИСтройдормаш предложил также модернизировать самую конструкцию виброхобота, с заменой подвески одного звена к другому подвеской отдельных звеньев к двум специальным несущим тросам (рис. 268). Так как в существующей конструкции нагрузка от нижних звеньев передается верхним, то нижние звенья должны быть сделаны более прочными, а следовательно, и более тяжелыми; при монтаже не исключена возможность перемены звеньев местами, а потому все звенья должны быть сделаны равнопрочными. Это утяжеляет виброхобот, да и сама существующая конструкция соединения звеньев на проушинах и пальцах громоздка и не обеспечивает виброхоботу необходимой гибкости, что создает трудности при его оттяжке.

Виброхобот новой конструкции имеет меньший вес, обладает большей гибкостью; монтаж его проще. Испытания новой конструкции виброхобота ВХЭ на Сталинградгидрострое дали положительные результаты.

§ 6. ПОДАЧА БЕТОННОЙ СМЕСИ КАБЕЛЬ-КРАНАМИ

Кабель-краны (рис. 269) представляют собой грузоподъемные машины с двумя башнями, между которыми протянут несущий канат *2*. По нему передвигается при помощи тягового каната *3* грузовая тележка *4* на колесах.

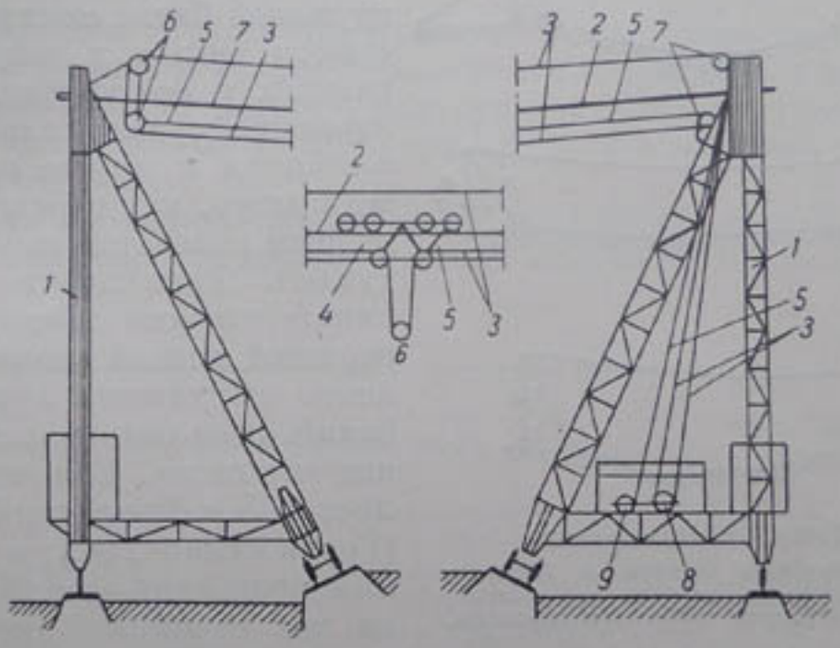


Рис. 269. Схема кабель-крана:

1—опорные башни (неподвижные или передвижные); *2*—несущий канат; *3*—тяговый канат; *4*—грузовая тележка; *5*—подъемный канат; *6*—обводные блоки; *7*—направляющие блоки; *8*—тяговая лебедка; *9*—подъемная лебедка.

Канат огибает обводные блоки *6* и направляющие блоки *7* и отводится на тяговую лебедку *8*, образуя замкнутое кольцо. Подъемный канат *5* навивается одним концом на барабан подъемной лебедки *9*, а другим закрепляется либо на грузовой тележке, либо на противоположной башне.

По степени подвижности различают неподвижные и подвижные кабельные краны; у неподвижных кранов опоры башен закреплены на фундаментах и грузовые операции могут производиться лишь в пределах узкой полосы под несущим канатом.

У подвижных кранов опоры могут передвигаться по подкрановым путям, благодаря чему такие краны могут обслуживать большие площади.

Имеются следующие разновидности подвижных кранов:

п а р а л л е л ь н ы е, у которых обе башни двигаются по параллельным прямолинейным крановым путям; они обслуживают прямоугольные рабочие площади;

р а д и а л ь н ы е, у которых одна башня неподвижна, а другая передвигается по круговым путям, описанным из центра неподвижной башни; рабочая площадь, обслуживаемая краном, имеет форму сектора;

круговые, у которых обе башни передвигаются по концентрическим круговым путям.

На гидростройках наиболее часто применяются подвижные краны, но иногда работают с несколькими нитками неподвижных кранов.

По способу натяжения несущих канатов различают краны:

с неподвижно закрепленными несущими канатами (рис. 270, *а* и *б*); с качающейся опорой (рис. 270, *в*); с противовесами (рис. 270, *г*).

Достоинство кранов первого типа состоит в простоте их конструкции и небольших колебаниях несущего каната при разгрузке.

Основным недостатком кранов с качающейся опорой являются значительные колебания несущего каната, особенно при быстрой разгрузке, медленно затухающие (10—15 *мин*) и сильно удлиняющие время цикла кабель-крана. Имеется ряд причин этого. Основная причина состоит в том, что борьба с явлением так называемого «прыжка» пока еще не дала положительных результатов.

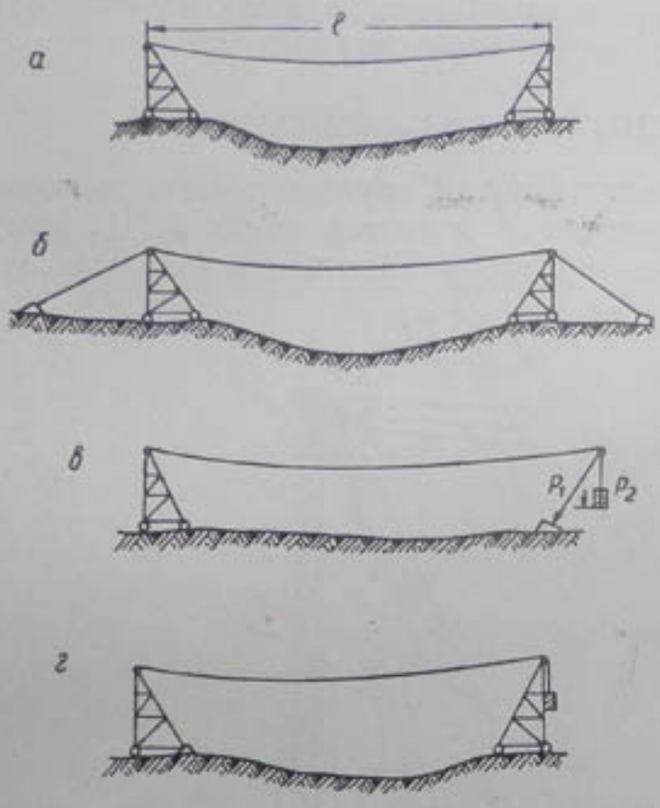


Рис. 270. Типы кабель-кранов:
а—закрепление несущего каната в башнях; *б*—закрепление несущего каната вне башни; *в*—с качающейся башней; *г*—с противовесом.

При быстрой разгрузке на весу груженой бадьи меняется провес несущего каната в результате возникающих в нем упругих деформаций; переход несущего каната из одного состояния в другое происходит так же быстро, как и разгрузка; в дальнейшем колебательные движения затухают. Размещенные на несущем канате тележки и бадья при этом совершают резкий скачок вверх с медленно затухающей амплитудой колебаний. Этот скачок и получил название «прыжка». Величина его составляет от 5 *м* (Свирская ГЭС) до 7—8 *м* (Горьковская ГЭС), а время затухания колебаний—до 15 *мин*. Поэтому на тех стройках, где применялась подача бетонной смеси кабель-кранами (Рыбинский, Шекснинский, Свирский, Горьковский гидроузлы), разгрузка бадей на весу не применялась; они сначала ставились на специальный столик, затем отдавался подъемный канат и лишь после этого производилась разгрузка. При таких условиях время цикла было очень велико, а производительность крана незначительна (на строительстве Свирской ГЭС средняя производительность параллельного крана была 89 $м^3$/*смену*, а радиального 49 $м^3$/*смену* при максимальной производительности 150 $м^3$/*смену*).

Основным средством уменьшения величины прыжка является применение кабель-кранов только с некачающимися опорами и отказ от кранов с качающимися опорами. По исследованиям проф. А. И. Дукельского (1954 г.), величина прыжка у кранов с некачающимися опорами в 2—6 раз меньше, чем у кранов с качающимися опорами.

Кабель-краны с противовесами применяются очень редко ввиду повышенного износа гибкого каната на блоке и усложнения конструкции башни.

Наибольшие пролеты зарубежных кабель-кранов грузоподъемностью 25 *т* достигают 800—900 *м* при одной нитке несущего каната; диаметр его при этом обычно равен 76 *мм*, но иногда достигает 89 *мм*.

При меньшей грузоподъемности пролеты могут достигать 1000 *м* и более.

Наименьший пролет кабель-кранов равен 130 *м*, и это позволяет применять их при возведении небольших гидротехнических сооружений, а также в промышленно-гражданском строительстве. Башни кабель-кранов в зави-

симости от пролетов и грузоподъемности имеют высоту 25—87 *м*, а суммарная мощность двигателей для подъема груза, передвижения тележки и самого крана изменяется от 90 до 300 *квт*.

На отечественных стройках кабель-краны за последние 20 лет имели ограниченное применение, главным образом на подаче и установке опалубки, арматурных конструкций, на монтаже, при перемещении разных грузов; лишь в незначительной степени они использовались на подаче бетонной смеси, хотя для кабель-кранов наиболее подходящей работой является транспортировка массовых грузов.

Важным мероприятием для обеспечения плавной разгрузки без прыжка является регулируемый выпуск бетонной смеси из бадьи. По исследованиям проф. А. И. Дукельского, плавная разгрузка с весьма малыми последующими колебаниями обеспечивается, если время разгрузки бадьи в 2—3 раза превышает время колебаний несущего каната. При периоде собственных колебаний несущего каната, равном около 5—6 *сек*, время разгрузки бадьи должно лежать в пределах 10—15 *сек*.

За рубежом созданы конструкции бадей с затворами, обеспечивающими регулируемый выпуск бетонной смеси в течение необходимого времени.

Чтобы не допустить подъема бадьи, нужно опускать подъемный канат в процессе разгрузки.

Для повышения производительности за рубежом применяют бадьи емкостью 6,1 $м^3$; типовые скорости составляют 366 *м/мин*—для горизонтального передвижения и 91 *м/мин* —для вертикального; в кранах последних конструкций, выпускаемых в США, эти скорости увеличены соответственно до 550—610 и 183 *м/мин*.

Анализируя материалы по 156 зарубежным гидроузлам, Д. В. Чаплыгин приводит следующие данные о способах подачи бетонной смеси (табл. 46).

Таблица 46

Оборудование для подачи бетонной смеси	Число объектов	В % к общему количеству объектов
Кабель-краны	84	54,0
Краны с бетонной эстакады	28	18,0
Стреловые краны из котлована	29	18,5
Средства непрерывного транспорта	15	9,5
Всего	156	100,0

Из данных таблицы видно, что за рубежом кабель-краны широко используются для подачи бетонной смеси к местам укладки и в меньшей степени для выполнения вспомогательных работ и подачи монтажных грузов.

Наибольшее распространение кабель-краны получили на постройке многих гидроузлов США; при помощи кабель-кранов возводят плотины во Франции, Италии, Швейцарии, Австрии, Англии, Германии и других странах.

Количество кранов, обслуживающих один объект, зависит от расчетной интенсивности подачи бетонной смеси, конфигурации сооружения в плане и от рельефа местности. Число передвижных кранов на одном сооружении доходит до 4—7, а стационарных—до 10 и более; на одной из плотин во Франции было установлено 14 кабель-кранов.

Максимальная суточная производительность была достигнута на плотине Шаста, где семь радиальных нормальных кранов с пролетами от 214 до 812 *м*, грузоподъемностью по 20 *т*, с бадьями 6,1 $м^3$ подавали 9000 $м^3$/*сутки* бетонной смеси.

Максимальная месячная производительность была на строительстве плотины Хенгри-Хорз, где четыре радиальных крана пролетом 730 *м* грузоподъемностью 25 и 20 *т* с бадьями емкостью 6,1 $м^3$ подавали 173 тыс. $м^3$ бетонной смеси в месяц. Кроме того, эти краны одновременно выполняли все подготовительные и вспомогательные работы бетонного комплекса.

Самая высокая производительность на один кран была достигнута на плотине Пайн-Флэт, где один скоростной кабель-кран пролетом 732 *м* грузоподъемностью 25 *т* с бадьей емкостью 6,1 $м^3$ подавал в сутки до 3050 $м^3$ и в месяц до 61 500 $м^3$ бетонной смеси.

Среднее устойчивое число циклов в час на постройке американских плотин изменяется от 10,4 до 15,6, а максимальное—от 15,3 до 21. Средняя производительность подачи бетонной смеси на 1 $м^3$ емкости бадьи изменяется от 245 до 375 $м^3/сутки$, а максимальная от 450 до 500 $м^3/сутки$. Эти данные относятся к плотинам высотой от 74 до 159 *м*.

Интересно сравнить эти данные с достигнутой на наших стройках интенсивностью подачи бетонной смеси при доставке ее по бетоновозным эстакадам. На строительстве Цимлянской ГЭС максимальная интенсивность подачи бетонной смеси была 3842 $м^3/сутки$, а средняя 1700 $м^3/сутки$.

На строительстве Волжской плотины максимальная производительность достигала 3166 $м^3/сутки$, а по ГЭС—4242 $м^3/сутки$.

Сравнение этих цифр с данными о подаче бетонной смеси на плотине Шаста, Хенгри-Хорз, Пайн-Флэт показывает, что кабель-краны могут обеспечить более высокую интенсивность подачи бетонной смеси по сравнению с бетоновозными эстакадами.

Для уменьшения времени цикла широкое распространение получила работа без отцепки бадей от крюка крана и совмещение горизонтального и вертикального перемещения бадей; эти мероприятия дают возможность сократить время цикла на 20—25%. Использование американских кабель-кранов во времени высокое; так, на строительстве плотины Норрис $К_{вр}$ изменился от 0,65 до 0,90 за все время выполнения бетонных работ.

Небезынтересно отметить, что в США и в некоторых западноевропейских странах элементы и оборудование кабель-кранов перебрасываются с одной стройки на другую.

Кабель-краны можно монтировать в период выполнения вспомогательных и земляных работ; при их применении бетонные работы могут начаться сейчас же по окончании земляных работ, тогда как при использовании бетоновозных эстакад начало массовых бетонных работ отодвигается на несколько месяцев, необходимых для постройки эстакад. С применением кабель-кранов связана возможность более быстрого окончания строительства гидроузлов.

Подача бетонной смеси по бетоновозным эстакадам кабель-кранами и ленточными транспортерами не задерживает работы по разборке перемычек и пропуску строительных расходов через недостроенные сооружения.

Транспортировка грузов кабель-кранами не зависит от топографических условий, что делает этот вид транспорта особенно эффективным в горных условиях; однако и на равнинных гидроузлах кабель-краны широко применяются как в США, так и в Европе; по данным инж. Д. В. Чаплыгина, из 36 гидроузлов, на которых применялись кабель-краны, 36% расположено на равнинных реках.

Большое достоинство кабель-кранов состоит в том, что они обеспечивают подачу в любую точку гидроузла как в плане, так и по высоте, без переустройства, что выгодно отличает их от бетоновозных эстакад, по которым можно подавать бетонную смесь лишь в часть бетонируемых сооружений (40—60% при одной эстакаде); наконец, достоинством кабель-кранов является также возможность подавать ими любые грузы (бетонную смесь, армофермы, опалубку и т. д.). При обслуживании строительной площадки кабель-кранами значительно сокращаются транспортные пути внутри обслуживаемой краном площади и уменьшается расход транспортных средств.

По предложению Гидропроекта разработана новая конструкция кабель-крана сдвоенного типа. Кроме основного несущего каната, по которому передвигается тележка с бадьей емкостью 4,5 $м^3$, имеются еще два крайних несущих каната, по которым перемещается тележка с подвешенной к ней перегрузочной воронкой и коротким виброхоботом. Тележка кранов грузоподъемностью 15 $т$, перемещающихся по верхнему поясу, предназначена для подачи бетонной смеси бадьями емкостью 4,5 $м^3$, арматурных конструкций и контейнеров с опалубкой. Тележка нижних кранов грузоподъемностью 25 $т$, перемещающаяся по нижнему поясу, предназначается для установки тяжелых элементов сборного железобетона, армоконструкций и оборудования. Если позволяют условия армирования, бетонная смесь подается в бадьях кабель-кранами грузоподъемностью 15 $т$. Там, где подача бетонной смеси препятствует арматуре, верхние и нижние краны используются совместно и бетонная смесь направляется в блоки через промежуточную воронку и виброхобот.

Из четырех вариантов подачи бетонной смеси на гидростанцию и водосливную плотину Нижне-Камского гидроузла самым экономичным оказался вариант с применением продольных параллельно передвижных кабель-кранов; по этому варианту стоимость всех работ, связанных с использованием кабель-кранов, определилась в 23,4 руб. на 1 $м^3$ бетона против 23,4—26,7 руб.—по вариантам бетоновозных эстакад.

Недостаток кабель-кранов состоит в быстрой изнашиваемости тросов, которые иногда приходится менять через неделю (до 60% длины тросов).

§ 7. ПОДАЧА БЕТОННОЙ СМЕСИ БЕТОНОНАСОСАМИ

Бетононасосы—это поршневые насосы горизонтального типа с клапанами принудительного действия. Наша промышленность серийно выпускает бетононасосы производительностью от 5 до 40 $м^3/час$. Рабочие схемы этих бетононасосов однотипны (рис. 271).

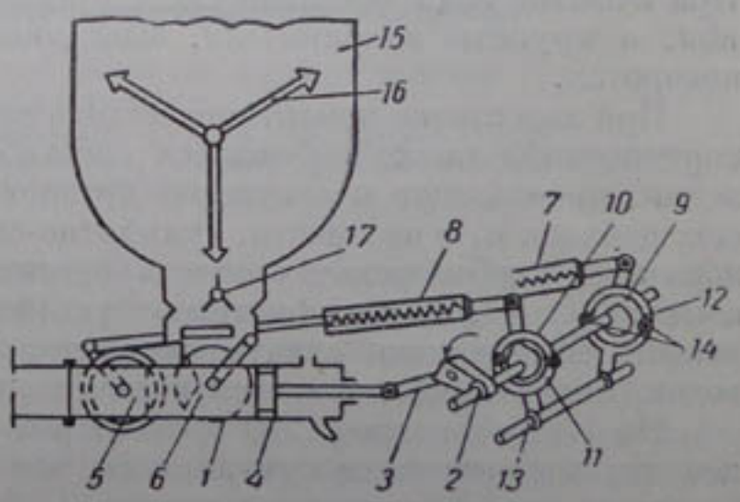


Рис. 271. Схема бетононасоса С-252:

1—станина; *2*—коленчатый вал; *3*—шатун; *4*—поршень; *5*—нагнетательный клапан; *6*—всасывающий клапан; *7*—тяга нагнетательного клапана; *8*—тяга всасывающего клапана; *9* и *10*—кулисы; *11* и *12*—кулаки; *13*—ось качания кулис; *14*—ролики кулис; *15*—бункер; *16*—смеситель; *17*—побудитель.

Коленчатый вал *2* приводится во вращение от электродвигателя вместе с кулаками *11* и *12*, а ролики *14* кулис *9* и *10* приводят кулаки в колебательные движения. Последние передаются тягами *7* и *8*, имеющими амортизирующие пружины, клапанам *5* и *6*; при повороте их открываются и закрываются соответствующие отверстия в клапанной коробке при подаче через них бетонной смеси. На головке поршня *4* навулканизирована резиновая манжета, служащая уплотнением; она не пропускает воду из промывочной камеры насоса, расположенной в задней части цилиндра, в бетонную смесь и препятствует попаданию цементного молока из цилиндра в промывочную камеру. Амортизационные пружины тяг предохраняют механизм от поломки при заклинивании кусков гравия или щебня.

Клапаны при закрытии не перекрывают полностью отверстий клапанной коробки; размеры оставляемых зазоров устанавливают в зависимости от крупности частиц перекрываемой бетонной массы. Поэтому часть бетонной смеси возвращается, как правило, в клапанную коробку, чему способствует и всасывание поршня.

При средней длине бетоновода и новых клапанах коэффициент использования объема цилиндра будет 0,6—0,8, а при неблагоприятных условиях

(большая длина бетоновода и большая осадка конуса) он может снижаться до 0,30[1].

Бетононасосы С-296 и С-252 паспортной производительностью 10 и 20 *м*³/*час* транспортируют бетонную смесь по горизонтали на 250 *м* и по вертикали на 40 *м*; диаметр рабочего цилиндра 150 и 201 *мм*. Наибольшая крупность заполнителей соответственно 50 и 65 *мм*. Бетононасосы С-284 и С-290 производительностью 40 *м*³/*час* могут подавать бетонную смесь на горизонтальное расстояние 300 *м* и вертикальное 40 *м*; диаметр рабочих цилиндров бетоноводов 280 и 201 *мм*. Наибольшая крупность заполнителей 120 и 70 *мм*.

Комплект бетоновода состоит преимущественно из звеньев прямых труб длиной 3 *м*, нескольких звеньев длиной от 1,5 до 0,3 *м* и колен с углами от 90° до 11°15′. Отдельные звенья труб имеют быстроразъемные соединения из замков рычажного типа.

Бетононасосы подают бетонную смесь как по горизонтали, так и по вертикали; поэтому необходимо при расчетах определять приведенную длину (к прямому горизонтальному участку). Один метр вертикальной трубы приравнивается 7 *м* горизонтальной, колена с углами 90°, 45°, 22°30′ и 11°15′ соответственно 12, 6,3 и 1,5 *м* горизонтальной трубы.

Требования, предъявляемые к бетонной смеси. Кроме обычных требований к бетонной смеси, перекачиваемой бетононасосами, предъявляется также требование удобоперекачиваемости. Последняя зависит от ряда факторов, из которых главнейшими являются: осадка конуса, вид крупного заполнителя и его наибольшая крупность, гранулометрический состав заполнителей, расход и сорт цемента, водоцементное отношение.

Расход цемента на Волгодонстрое изменялся от 260 до 310 *кг*/*м*³ (марка цемента 400 и 500); содержание песка составляло 35—40% общего веса заполнителей; водоцементное отношение—от 0,50 до 0,65, осадка конуса 6—8 *см*. При избытке воды бетонная смесь становится неустойчивой против расслоения, а крупные заполнители, выпадающие из смеси, образуют пробки на поворотах.

При недостатке цементного молока или вследствие его утечки при транспортировании также нарушается состав смеси, резко повышаются сопротивления, приводящие к закупорке бетоноводов. Применение пластифицирующих добавок и, в частности, сульфитно-спиртовой барды (ССБ) значительно повышает удобоперекачиваемость бетонной смеси и приводит к экономии цемента. Эти добавки повышают устойчивость смеси против расслоения, несколько замедляют схватывание, снижают трение смеси о стенки бетоноводов; кроме того, снижается количество воды и расход цемента.

На Волгодонстрое ССБ добавлялось в количестве 0,10—0,25% от веса цемента в пересчете на сухую смесь, что давало возможность перекачивать бетонную смесь с осадкой конуса 3—5 *см* и снижать расход цемента на 8—10%.

Организация работ. Бетонную смесь можно подавать к бетононасосным установкам автосамосвалами или ленточными транспортерами. На рисунке 272 показана схема передвижной бетононасосной установки со скиповым подъемником, применявшаяся на Куйбышевгидрострое, где бетононасосами С-252, С-290 и С-284 было подано 1157 тыс. *м*³ бетонной смеси. Вместо применявшегося на Горьковгэсстрое и Волгодонстрое дополнительного верхнего бункера с затвором здесь наращивались стенки бункера бетононасоса на 40—50 *см*; это обеспечило нормальную эксплуатацию и прием смеси с автосамосвалов и вместе с тем уменьшило высоту помещения и размеры эстакады.

Для лучшего распределения бетонной смеси по блоку бетоновод монтируют на 1—1,8 *м* выше верхней отметки бетонируемого блока с уклоном в сторону бетононасоса или обратно для обеспечения естественного стока воды при промывке. Для этой цели инвентарные выдвижные стойки, успешно при-

---

[1] В. М. Васильев. Производительность бетононасосов и пути ее повышения. «Гидротехническое строительство» № 3, 1954.

мененные на ряде строек, оказались более удобными в эксплуатации, чем деревянные козелки.

Динамические усилия, возникающие в бетоноводе, весьма значительны, передача этих нагрузок на опалубку или арматуру нежелательна. Поэтому под каждое звено бетоновода следует устраивать прочную опору.

Бетононасосная установка должна работать круглосуточно, без перерывов; при перерывах до одного часа периодически прокачивают бетонную смесь, включая бетононасос на несколько оборотов коленчатого вала через 5—10 *мин* летом и через 15—20 *мин* в прохладную погоду. При применении ССБ на Волгодонстрое допускались перерывы до двух часов с периодическими подкачками на короткое время.

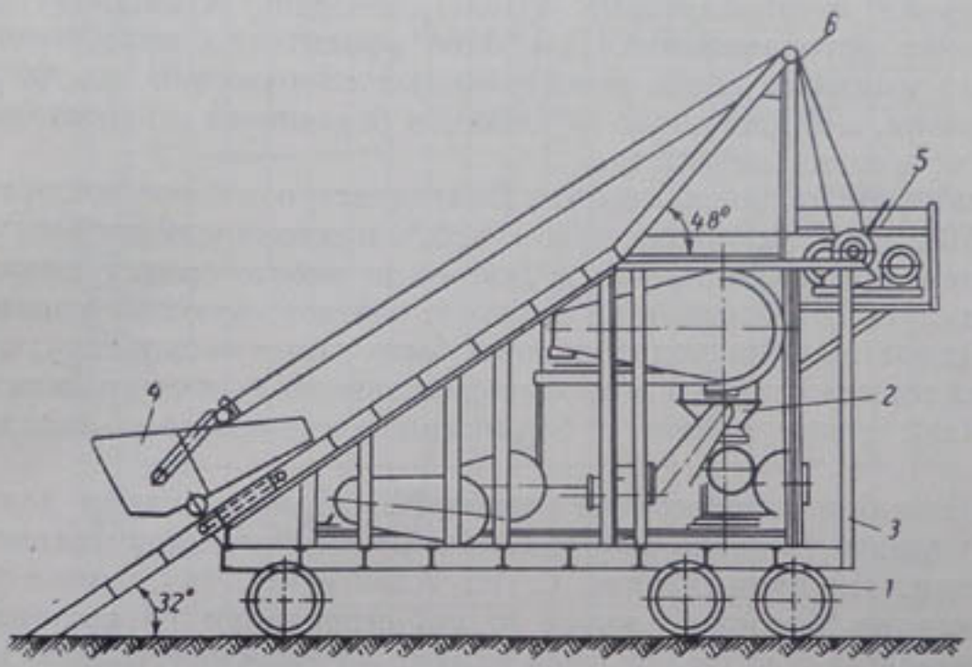


Рис. 272. Схема передвижной бетононасосной установки Куйбышевгидростроя:

1—прицеп-тяжеловоз грузоподъемностью 20 *т*; *2*—бетононасос С-284; *3*—каркас установки; *4*—ковш подъемника; *5*—электролебедка *6*—блок ковшового подъемника.

В начале работы необходимо смазывать стенки бетоновода цементным раствором 1 : 2—1 : 3 с подвижностью 7—9 *см* по осадке нормального конуса. На Волгодонстрое на каждую смазку бетоновода расходовалось 0,5 $м^3$ раствора. Попытки подавать бетонную смесь без предварительной смазки стенок обычно приводили к образованию пробок. Наличие пробок обнаруживается по просачиванию в стыках цементного молока, по шуршанию проходящей бетонной смеси и путем простукивания. Чаще всего пробки образуются в коленах. Проталкивать образовавшуюся пробку с помощью бетононасоса запрещается, так как это вызывает уплотнение пробки и увеличение ее размеров.

Для удаления пробки надо в месте ее образования прервать линию и извлечь из трубы спрессованную часть бетонной смеси.

По окончании бетонирования бетоновод промывают, проталкивая пыжи водой, подаваемой поршневым насосом, под давлением 10—20 *атм*.

На Волгодонстрое и на некоторых других стройках под приемным бункером устанавливалась решетка с вибраторами, чтобы исключить попадание в насос сверхмерных частиц крупного заполнителя. Однако опыт показал, что решетки замедляют поступление в приемный бункер бетонной смеси и даже вызывают некоторое нарушение ее однородности. По-видимому, целесообразнее ставить решетки на бетонном заводе над бункерами крупного заполнителя.

Коэффициент использования бетононасосов во времени $К_{вр}$ изменяется от 0,5 до 0,8 при хорошей организации работ и бетонировании массивных конструкций, когда не требуется делать частых перерывов для перекладки бетоноводов.

Из бетоновода бетонная смесь распределяется по блоку поворотными лотками, когда бетонирование производится на глубине не более 3 *м*. При бетонировании блоков с большой высоты, кроме лотков, применяют хоботы и виброхоботы. Толщина слоя бетонирования в зависимости от принятых темпов и площади блока изменяется от 20 до 40 *см*. Укладку бетонной смеси в сооружение выгоднее начинать с места, наиболее удаленного от бетононасоса, и вести к бетоноводу, непрерывно снимая отдельные звенья бетоновода по мере бетонирования, без перерывов в подаче. При таком способе исключается установка опорных стоек бетоновода на свежеуложенную бетонную смесь. В тех случаях, когда требуется подать бетонную смесь на большие расстояния, применяется последовательная перекачка бетонной смеси двумя или даже тремя бетононасосами (Волгодонстрой, Куйбышевгидрострой).

Применение бетононасосов. Наиболее эффективно применение бетононасосов для массивных слабо армированных сооружений, когда дальность транспортировки, а также число перекладок бетоновода и перестановок бетононасосной установки невелики.

На Карповской насосной станции Волгодонстроем бетононасосами выполнено около 40 тыс. $м^3$ бетонных работ (82%), причем была достигнута максимальная производительность—27 $м^3/час$—при работе сверху вниз. Обычно, когда возводились сооружения до отметки, соответствующей уровню бетононасосной установки, производительность была выше паспортной; при работе с подъемом на высоту от 0 до 5 *м* производительность была в пределах паспортной (20 $м^3/час$), а при работе с бóльшими подъемами она падала до 10—13 $м^3/час$.

Применение бетононасосов на шлюзе №3 Волгодонстроя дало возможность вдвое уменьшить число рабочих, обычно занятых на комплексе укладки бетонной смеси. По данным инж. С. Н. Алексеева[1], трудоемкость работ по насосной укладке бетонной смеси с вибрированием ее составляет 0,5—0,8 человеко-часа на 1 $м^3$ смеси; сюда входит и трудоемкость укладки бетоновода (0,1—0,15 человеко-часа на 1 пог. *м* бетоновода). Расход электроэнергии при средних расстояниях насосного транспорта составил 1—1,5 $квт \cdot ч$ на 1 $м^3$ бетонной смеси.

Несмотря на широкое применение бетононасосов, этот механизм подачи бетонной смеси наименее надежен, так как до сего времени не найдено более простого решения, чем транспортировка бетонной смеси по трубам. К основным недостаткам этого способа относятся: необходимость применения бетона повышенной пластичности, ограничение по размеру фракций заполнителей, трудность возобновления работы после вынужденной остановки и большой отход бетона (отбраковывается бетон жесткий, или с признаками начавшегося схватывания, или излишне пластичный).

§ 8. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТРАНСПОРТИРОВКИ БЕТОННОЙ СМЕСИ

На рисунке 273 приведены технико-экономические показатели, разработанные институтом «Оргэнергострой» на основании опытных технологических карт.

Как видно из графика, при бетонировании распластанных блоков нижних ярусов наиболее дешевой является подача бетонной смеси ленточными транспортерами и гусеничными кранами; подача автосамосвалами обходится значительно дороже. По производительности автосамосвалы превосходят ленточные транспортеры и гусеничные краны. Подача бетонной смеси с бетоновозных эстакад портальными кранами наиболее невыгодна по стоимости, производительности и по другим показателям. Подача виброхоботами обходится значительно дешевле, чем портальными кранами с бадьей.

На наших стройках бетон подается с бетонного завода к блоку главным образом автосамосвалами (Иркутская и Бухтарминская ГЭС—100%, Горь-

[1] С. Н. Алексеев. Насосный транспорт бетонной смеси. Госстройиздат, 1952.

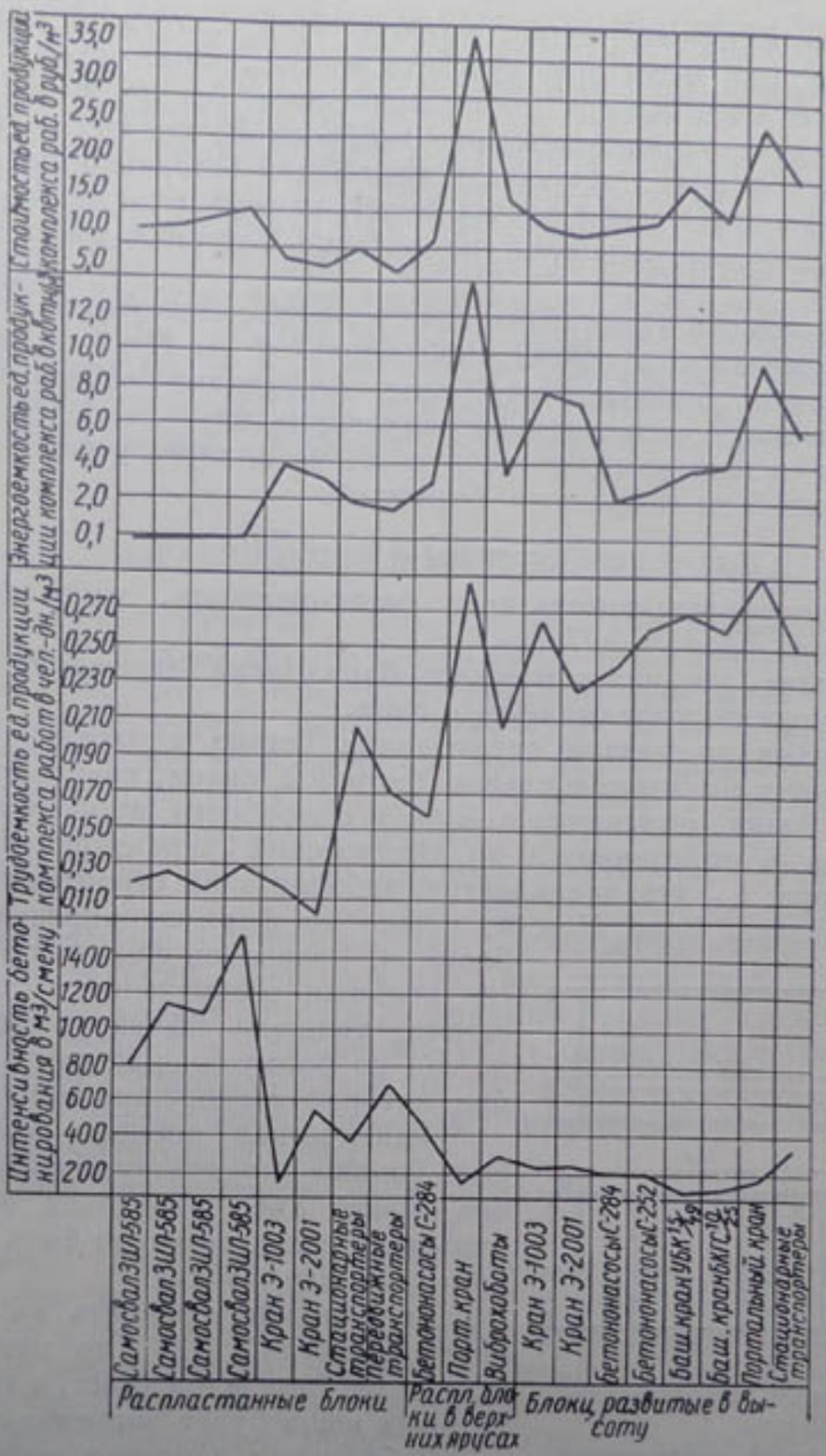


Рис. 273. Технико-экономические показатели бетонирования по различным схемам.

ковская—95%, Сталинградская—82%, Волжская—67%, Новосибирская—65%); железнодорожный транспорт применяется значительно реже. Наоборот, на стройках в США удельный вес железнодорожного транспорта составляет 80%, а в европейских странах 50%.

Глава XIX
УКЛАДКА БЕТОНА В БЛОКИ

§ 1. РАЗБИВКА СООРУЖЕНИЙ НА БЛОКИ

Блоком называется бетонируемая без перерыва часть сооружений. Укладка и уплотнение бетонной смеси в блоке должны заканчиваться до начала процесса схватывания; если это условие не соблюдено, то бетонную кладку нужно прервать. Возобновить ее можно только тогда, когда

уложенный бетон приобретет достаточную крепость. Такой порядок производства работ, при котором получаются вынужденные остановки в бетонировании, называемые иногда «замораживанием» бетона, недопустим.

Во избежание «замораживания» необходимо, прежде всего, сообразовать размеры блоков с производительностью бетонного завода. Бетонирование производится полосами шириной, равной ширине блока B, и толщиной, определяемой глубиной проработки бетонной смеси вибраторами (рис. 274).

После укладки и уплотнения слоя на всей длине блока от A до $Б$ начинают укладывать следующий слой вновь от A. Поэтому во избежание «замораживания» укладываемого слоя необходимо соблюсти следующее условие: к моменту окончания бетонирования блока в $Б$, бетонная смесь, уложенная в начале укладки слоя в A, не должна успеть схватиться.

Это может быть выражено формулой:

$$П\,(t_{сх} - t_{тр}) > \omega h = BhL, \qquad (124)$$

где $П$ — производительность всех бетономешалок, работающих на данный блок, в $м^3/час$;

L, B и ω — длина, ширина и площадь блока (если бетонируется один блок);

h — толщина укладываемого слоя;

$t_{сх}$ — время до начала схватывания бетона в часах;

$t_{тр}$ — время на приготовление бетонной смеси, транспортирование ее к блоку, опускание в блок и проработку вибраторами в часах.

Величина h определяется по технической характеристике применяемого вибратора; $t_{сх}$ устанавливается лабораторией строительства, либо по паспорту цемента. Зная $П$ и h, можно по формуле определить площадь блока ω. Задаваясь шириной блока по конструктивным соображениям (ширина стенок шлюза, толщина бычка, периметр трубы), можно по формуле определить длину блока, при которой «замораживания» не будет.

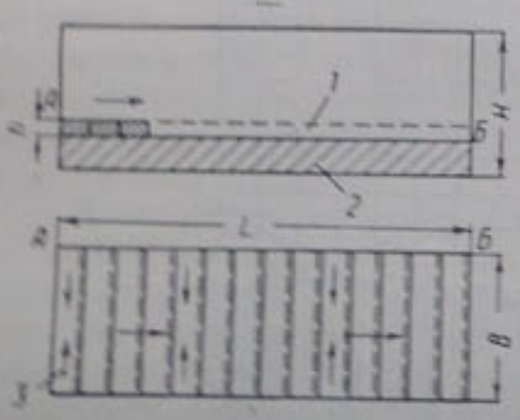


Рис. 274. Порядок вибрирования в блоке:

1—укладываемый слой; 2—уложенный слой; 3—полоса, уплотняемая вибратором за один проход.

Фактическая площадь блока не может быть больше определяемой по формуле (124); она может либо равняться ей, либо быть меньше. Последнее может быть использовано при разбивке блоков.

Если плотину разбить на блоки, пользуясь формулой (124), то при одной и той же высоте блоков число их, а также и строительных швов будет минимальным.

В бетонных плотинах постройки 1920—1930 гг. расстояние между швами принималось от 25—30 до 40 *м*; в плотинах более поздней постройки швы устраивают через 12—19 *м*; это объясняется появлением трещин в плотинах с большими расстояниями между швами вследствие усадочных явлений в свежеуложенном бетоне и других причин.

Для уменьшения числа усадочных трещин можно применять низкотермичные цементы и пуццолановые добавки к цементу, имеющие эндотермическую реакцию; важной мерой против трещинообразования служит применение предварительно-напряженного бетона.

Высота блоков определяется другими соображениями. Увеличение высоты блоков желательно для уменьшения числа горизонтальных строительных швов; однако температура внутри высоких блоков достигает больших значений и с этим связано появление большого количества усадочных трещин. Кроме того, при высоких блоках и быстрых темпах бетонирования может возникнуть чрезмерная нагрузка на нижние слои, еще не успевшие приобрести достаточную прочность. В практике плотиностроения блоки обычно делали высотой 1,5 *м* с одновременным ограничением

укладываемого слоя бетона до 0,5 *м* в сутки. На Днепрострое блоки делались высотой 4 *м*. Объем блоков в советских плотинах доходит до 5 тыс. $м^3$, в отдельных случаях—до 12 тыс. $м^3$. Укрупнение блоков ведет к сокращению количества строительных швов.

Процесс экзотермии может быть ослаблен, а перепад температур между ядром и наружными блоками ослаблен, если в теплое время года бетон приготовляется на охлажденной воде, или если вместо воды вводится толченый лед. Через блоки большого объема по специально укладываемым бетонным трубам, которые потом заделываются, прокачивается охлажденная вода или холодный соляный раствор. Опалубку, обращенную к солнцу, белят, поливают или закрывают мокрой тканью. Поверхность уложенного бетона также систематически поливают. Наибольший перепад температур происходит ночью; поэтому такие блоки на ночь обязательно укрывают.

§ 2. РАЗРАВНИВАНИЕ И УПЛОТНЕНИЕ БЕТОНА

Бетонная смесь, спущенная в блок, должна распределяться по блоку равномерно, укладка одной порции бетона на другую (кучей) не допускается; поэтому желоба, вибролотки, трубы бетононасосов должны постоянно перемещаться, на что уходит значительная часть рабочего времени. Перемещение бетона в блоке скребками—способ малопроизводительный. Поэтому для малоармированных блоков с большой площадью начинают применять малые бульдозеры, опускаемые в блок краном. Для узких густоармированных блоков можно применять скреперы с автоматическим управлением.

Применяющийся на стройплощадках способ забрасывания вибробулав на кучи и подтаскивания смеси за вибратором недопустим, так как за булавой перемещается цемент с песком, а крупные фракции остаются на месте; этот прием способствует попаданию воздуха в бетон. Бетон следует уплотнять после укладки бетонной смеси на место.

В настоящее время бетон уплотняют исключительно вибраторами, что дает следующие преимущества.

1) повышается однородность, плотность, водонепроницаемость и прочность бетона;

2) достигается экономия 10—15% цемента благодаря возможности применения более жесткого бетона;

3) ускоряется распалубка благодаря более быстрому нарастанию прочности вибрированного бетона; можно увеличить высоту блока, так как схватившийся бетон на опалубку не давит;

4) возникает возможность «оживления» бетона в момент, когда начинается процесс схватывания, что позволяет исправлять ошибки в работе по укладке.

Вибрацией называется высокочастотные колебания с малой амплитудой и значительным ускорением, достаточным для смещения частиц при каждом колебании; частота и амплитуда колебаний должны быть такими, чтобы каждая из частиц могла перемещаться в наиболее устойчивое положение.

Уплотнение бетонной смеси должно происходить при таком режиме, который обеспечивает переход смеси в тяжелую жидкость; это наступает после того, как вибрация преодолеет трение и сцепление частиц бетонной смеси. При этом частицы крупного заполнителя под действием собственной тяжести погружаются вниз, скользят одна по другой и укладываются наиболее плотно; все пустоты между ними заполняются ставшим более текучим раствором, а содержащийся в бетонной смеси воздух пузырьками поднимается наверх.

Подвижная (в пределах зоны действия вибратора) бетонная смесь затекает во все углы формы и хорошо ее заполняет.

Большое влияние на эффект вибрации оказывает амплитуда колебаний (рис. 275), действие которой сохраняется и при разных частотах колебаний.

Бетонная смесь после перемешивания должна иметь вязкость, соответствующую типу бетонируемой конструкции и способу уплотнения[1] (табл. 47).

Таблица 47

Вид конструкции	Укладка вибраторами	
	Показатель вязкости (удобоукладываемости) в сек	Осадка конуса в см
Подготовка под фундаменты, полы, дорожные покрытия	35—25	1—2
Массивные неармированные конструкции (подпорные стены, фундаменты, массивы и конструкции с редко расположенной арматурой)	25—15	2—4
Каркасные железобетонные конструкции (плиты, балки, колонны большого и среднего сечения)	15—10	4—8
Железобетонные конструкции, насыщенные арматурой (бункеры, силосы, тонкие стены и колонны)	10—5	8—10

Показателем вязкости (удобоукладываемости) в таблице названо время в секундах, необходимое для превращения вибрированием на виброплощадке конуса бетонной смеси в равновеликий по объему цилиндр.

Различают низкочастотную вибрацию с числом колебаний до 1500 в минуту, нормальную—до 3000 и высокочастотную—до 16 000 колебаний в минуту. При частоте колебаний 2850 в минуту и амплитуде 0,35 *мм* развивается ускорение, равное трем земным ускорениям, а при возрастании числа колебаний до 12 000—16 000 в минуту и при амплитуде 0,1 *мм* оно возрастает до 24 земных ускорений.

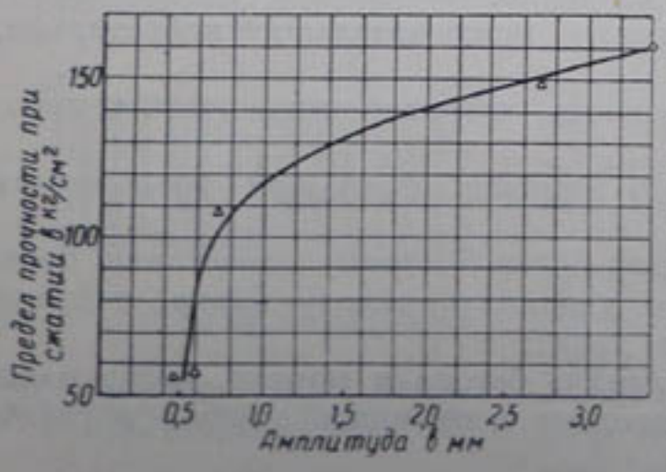


Рис. 275. Влияние амплитуды колебаний при уплотнении бетона на его прочность (при 1500 колебаний в минуту).

С увеличением частоты колебаний возрастает радиус действия вибраторов и степень уплотнения бетонной смеси; вместе с тем становится возможным уменьшить диаметр рабочего наконечника. Советская промышленность выпускает вибраторы с числом колебаний 2800, 5700, 7000, 10 000 и 14 000 в минуту.

Вибраторы бывают электрические и пневматические. Применяются главным образом первые; они разделяются на электромеханические и электромагнитные; первые приводятся в движение электродвигателем, а работа вторых основана на притяжении якоря сердечником электромагнита при пропуске переменного тока.

В электромеханических вибраторах вибрация происходит под действием неуравновешенных грузов-дебалансов, внецентренно насаженных на концы вала.

[1] А. Е. Десов, Е. П. Миклашевский, О. А. Гершберг, С. В. Шестоперов. Руководство по укладке бетонной смеси с применением вибраторов. Дориздат, М., 1950.

По своей конструкции вибраторы распределяются на поверхностные, или площадочные, внутренние, или глубинные, наружные, или тисковые, вибраторы специального положения (для отощения бетонных смесей).

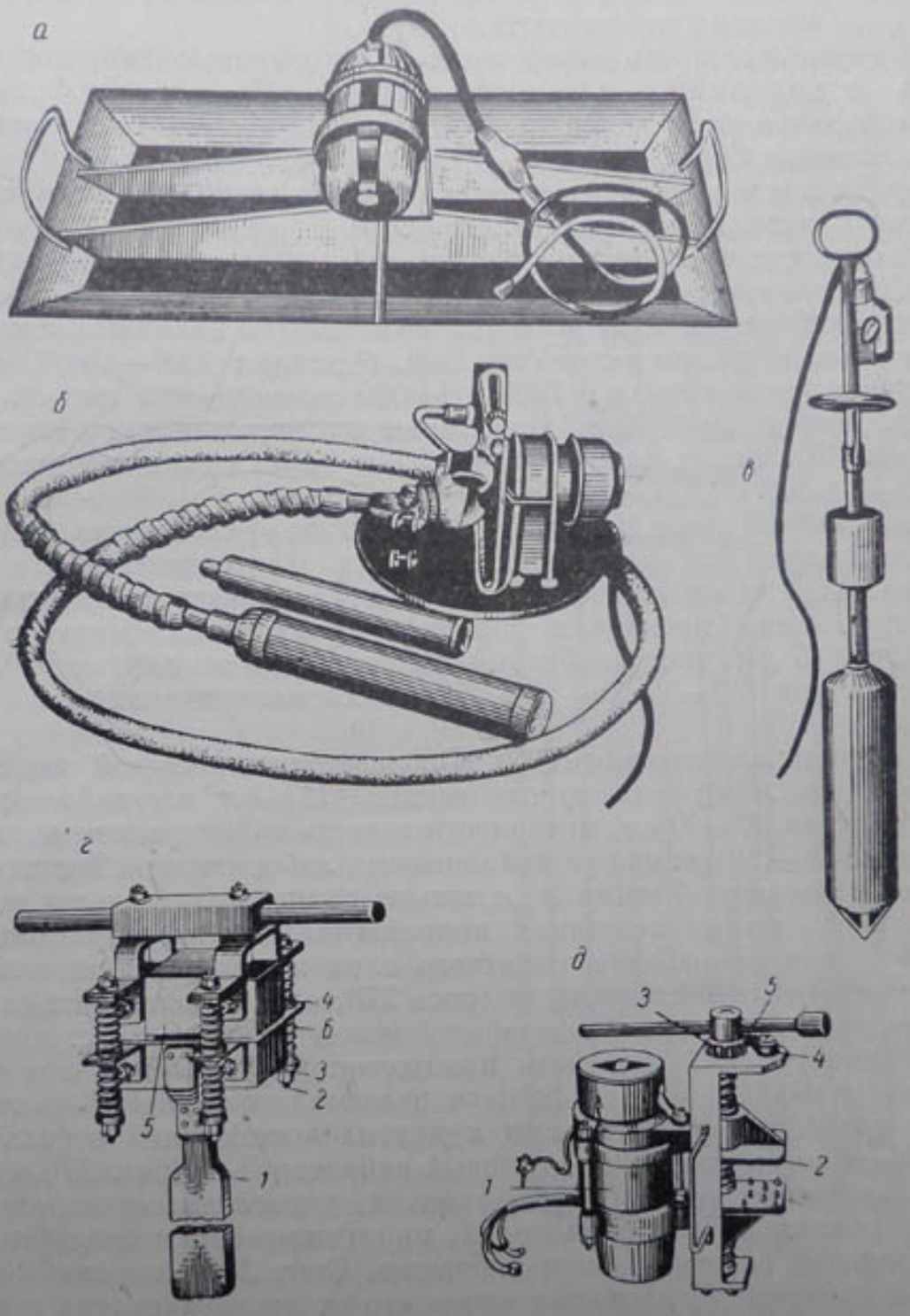


Рис. 276. Вибраторы, выпускаемые нашей промышленностью:
а—поверхностный электровибратор И-7; *б*—электровибратор И-21 со сменным наконечником и гибким валом; *в*—электровибробулава И-86; *г*—штыковой вибратор электромагнитного действия: *1*—рабочий наконечник; *2*—болты с пружинами; *3*—якорь; *4*—сердечник электромагнита; *5*—зазор. *д*—тисковый вибратор; *1*—электродвигатель с дебалансами; *2*—тиски; *3*—винт для прикрепления вибратора к ребрам опалубки; *4*—храповик; *5*—собачка.

Промышленность выпускает поверхностные вибраторы И-7 (рис. 276,*а* и И-117, число колебаний 2800 *виб/мин*, мощность двигателей 0,4 и 0,8 *квт*, вес вибраторов 44 и 55 *кг*, производительность 4 $м^3/час$ (для И-7), глубина проработки бетонной смеси 20—40 *см*. Продолжительность вибрирования 60 *сек*.

На рабочей площадке размерами 0,5×1 *м* поставлен электродвигатель с дебалансами на валу электродвигателя; рукояти служат для передвижения вибратора.

Применение поверхностных вибраторов возможно при значительных расстояниях между арматурой.

Влияние вибраторов ограничивается размерами его площадки. Поверхностные вибраторы применяются для уплотнения при укладке тонких плит и заглаживания поверхности.

При перестановке на новое место поверхностные вибраторы следует отрывать от уплотненной поверхности бетона. Протаскивание вибраторов в горизонтальном положении по уплотненному слою не рекомендуется (так как остается борозда).

Глубинные вибраторы предназначены для уплотнения бетонной смеси методом внутренней вибрации.

Промышленность выпускает электровибраторы следующих типов: И-21 и И-116 (со сменным наконечником), И-22 и И-86 (электровибробулавы).

Электровибраторы И-21 и И-116 со сменными наконечниками диаметром 75 и 51 *мм* и гибким валом (рис. 276, *б*) делают 7000—10 000 *виб/мин*—при больших наконечниках и 7000 и 14 000 *виб/мин*—при малых. Электродвигатель мощностью 1 *квт* установлен на металлической тарелке; вес вибраторов с большим наконечником 39 и 32 *кг*. Толщина уплотняемых слоев 20—40 *см*.

Электровибробулава И-22 и И-86 (рис. 276, *в*) состоит из герметически закрытого кожуха, в который вмонтирован электродвигатель с дебалансами, трубчатой штанги, соединенной с верхней частью кожуха; внутри штанги проложены провода и укреплен выключатель. Диаметр рабочей части 152 и 135 *мм*, число вибраций 2840 и 6000 в минуту; вес 30 и 32 *кг*. Радиус действия 30—35 *см*—при больших наконечниках и 20 *см*—при малых.

Особенность электровибратора И-50 состоит в высокой частоте колебаний (5700 *виб/мин*); диаметр наконечника 114 *мм*, вес вибратора 21 *кг*. Радиус действия 30—40 *см*, продолжительность вибрирования внутренними вибраторами 20—30 *сек*; она устанавливается лабораторией. Толщина уплотняемых слоев должна быть на 5 *см* меньше длины рабочей части вибратора.

При очень малых толщинах прорабатываемых железобетонных конструкций и при проработке защитного слоя применяется штыковой вибратор электромагнитного действия (рис. 276, *г*). Он состоит из сердечника электромагнита *4* и якоря *3* с зазором *5* между ними; к якорю присоединен рабочий наконечник *1* и по ним пропускается переменный ток с числом колебаний до 6000 в минуту. Штыки делаются толщиной 4—5 *мм*.

При проработке колонн, стен и других конструкций небольшой толщины (30—40 *см*) применяется тисковый вибратор И-87 (рис. 276, *в*), состоящий из электродвигателя *1* с дебалансами, укрепленными на его валу, и жестко скрепленных с ним тисков *2*, прикрепляемых к опалубке и через нее передающих бетонной смеси вибрацию. Винт *3* тисков снабжен храповиком *4* и собачкой *5*, удерживающими его от проворачивания в обратную сторону. Мощность двигателя 0,4 *квт*; вес вибратора 30,5 *кг*. Применение вибраторов не гарантирует от зависания бетона около арматуры и опалубки, поэтому при бетонировании колонн обязательно постукивание по опалубке.

В последнее время нашей промышленностью освоены новые типы вибраторов: площадные С-413 и С-414 и наружного действия С-157 и С-433, с частотой колебаний в минуту 2800; мощность электродвигателя от 0,4 до 0,8 *квт*; вес от 25 до 45 *кг*[1].

В зависимости от консистенции бетона внутреннее вибрирование продолжается 25—30 *сек*, а поверхностное 30—40 *сек*; время окончания уплотнения определяется появлением раствора на поверхности бетона, прекращением оседания бетона, хорошим заполнением форм, прекращением выхода пузырьков воздуха.

---

[1] В. М. Аполлосов, М. А. Суриков. Механизация, производство и организация гидротехнических работ. Сельхозгиз, 1957.

Число вибраторов n, которые необходимо установить в блоке для того, чтобы не допустить его «замораживания», можно подсчитать по формуле:

$$n = \frac{BLh}{H_в(t_{сх} - t_{тр})}, \qquad (125)$$

где $H_в$ — производительность вибратора в $м^3/час$; остальные обозначения те же, что и в формуле (124).

Вибраторы следует располагать правильными рядами с перекрытием в 5—10 *см* и постепенно передвигать от одного конца к другому. Когда вибраторы дойдут до конца блока, разравнивают бетон следующего слоя, а вибраторы переставляют к началу блока; аналогичным образом происходит уплотнение следующих слоев.

Бетонные смеси при уплотнении вибраторами могут иметь пластичность от 1 до 8 *см* стандартного конуса; для слабо армированных конструкций должна применяться бетонная смесь с меньшей осадкой конуса, а для железобетонных конструкций с густой арматурой—с большей осадкой.

Внутренние вибраторы следует погружать в уплотняемый слой вертикально; по окончании уплотнения нужно медленно извлекать вибратор, не включая тока. Скорость поднятия вибратора должна быть такой, чтобы отверстия успевали заполняться бетонной смесью (во избежание попадания воздуха).

Расстояния между смежными местами установки внутренних вибраторов и расстояние между рядами не должно превышать 1,5 радиуса действия вибратора; это обеспечивает уплотнение всей площади блока.

Увеличивать время вибрирования против установленного не рекомендуется, так как это вызывает неоднородность бетона вследствие увеличения содержания крупного заполнителя в нижней части уплотняемого слоя.

Вибрация применяется также для облегчения выгрузки бетонной смеси из хоботов и сыпучих материалов из бункеров и дозаторов.

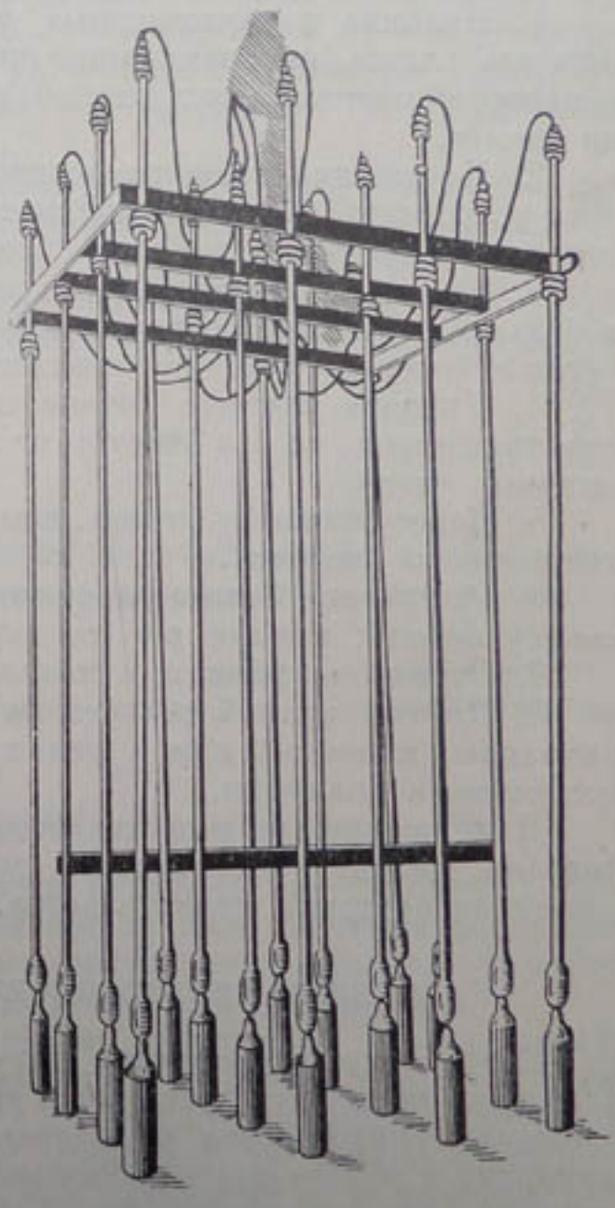


Рис. 277. Вибропакет.

Большой вес вибратора и трудность его протаскивания по блоку заставляют применять подвешивание вибраторов на стреле крана (или на специальном вылете). Это позволяет увеличить вес вибраторов и его способность прорабатывать слои большей толщины (что увеличивает производительность укладки бетона). Применяют несколько вибраторов (вибропакеты), подвешивая их на раме к стреле крана (рис. 277).

Возможность применения сразу нескольких вибраторов привела к созданию нового прогрессивного приема бетонирования массивных блоков методом отощения бетонной смеси[1]. Этот прием проверяется в производственных условиях. Сущность его состоит в том, что на слой уложенного

[1] Б. С. Ухов, Н. С. Елецкий и др. Опыт бетонирования массивных блоков методом отощения бетонной смеси. «Гидротехническое строительство» № 12, 1958.

жесткого бетона укладываются камни (бетонные плиты, массивы), которые под действием вибраторов увлекаются вглубь, для чего у вибраторов и пакетов делают специальную втапливающую раму.

Методы определения удобоукладываемости и подвижности бетонной смеси, а также испытаний бетона на сжатие и изгиб обусловлены ГОСТ 6901—54.

§ 3. КОНТРОЛЬ ЗА УКЛАДКОЙ БЕТОНА

Уложенный в сооружение бетон при одном и том же составе бетонной смеси и сроках перемешивания может иметь различное качество.

Причины снижения качества бетона в основном сводятся к следующему.

1. Наличие некачественных и загрязненных заполнителей (большая примесь глины, обволакивание щебня мелочью) из-за плохого надзора за облагораживанием заполнителей в карьере и окучиванием заполнителей на складе.

2. Нарушение времени перемешивания и дефекты в работе дозирующих устройств; для недопущения этих нарушений замес проверяют в лаборатории непрерывно и берут образцы по нескольку раз в день.

3. Задержка бетонной смеси в бункере завода, на перегрузочных узлах, в бадьях; если процесс схватывания уже начался при перевозке, то такой бетон в блоке или вовсе не схватится, или получится пониженной прочности.

4. Укладка свежего бетона поверх начавшего схватываться, или по схватившемуся, но без очистки от пленки и брызг бетона на арматуре и закладных частях.

5. Пересушивание бетона, вызванное испарением воды, требуемой для химического процесса.

6. Расслоение бетона, повреждение нижнего слоя от удара падающего сверху бетона, плохая работа вибраторщиков.

7. Отход опалубки при начале схватывания.

8. Плохая проработка бетона под арматурой, трубами, среди густой арматуры (колонны) или в углах у опалубки, вытекание раствора через неплотности опалубки.

Для повышения качества бетона весь процесс его приготовления, перевозки, укладки и созревания должен находиться под постоянным контролем лаборатории строительства.

§ 4. УХОД ЗА СВЕЖЕУЛОЖЕННЫМ БЕТОНОМ В ЛЕТНЕЕ ВРЕМЯ

Бетон высокого качества получается в том случае, если он во время твердения находился в теплой и влажной среде. Необходимо предохранить свежеуложенный бетон от нагревания солнечными лучами, так как это приводит к потере влаги, содержащейся в нем, уменьшению прочности высохшего слоя, крошению его и образованию трещин.

Чтобы сохранить в бетоне свободную влагу до конца схватывания, его укрывают рогожами, брезентом, мешками, соломенными матами или посыпают песком слоем в 2—3 *см*. Затем в течение 5—14 суток бетон поливают водой из шланга с разбрызгивающим наконечником, а при возможности проезда—из автоцистерны (веерной струей). Число поливок зависит от погоды. В очень жаркую погоду нужно поливать не только бетон, но и опалубку. В первые дни после укладки бетона его поливают чаще, а затем реже. В солнечные дни при температуре 15° поливку производят днем через два часа, ночью—реже. Бетоны на пуццолановых цементах следует поливать дольше. Поливку начинают через 12 часов после укладки—в жаркую погоду и через 1—$1^1/_2$ суток—в прохладную, когда бетон настолько затвердеет, что будет исключена возможность вымыва из него цемента. При поливке из шланга воду направляют вверх.

На свежий бетон воспрещается становиться ногами, ходить по нему и нагружать его.

После снятия опалубки необходимо сейчас же начать увлажнение боковых поверхностей до их закрытия соседними блоками; увлажнять нужно настолько часто, чтобы боковые поверхности непрерывно оставались влажными.

§ 5. СРОКИ РАСПАЛУБКИ

Для ускорения темпов работ распалубку блоков следует выполнять быстрее, чтобы получить возможность установить опалубку и бетонировать соседние и вышележащие блоки. Однако распалубку можно начинать лишь тогда, когда бетон приобретет надлежащую прочность. Требуемая для распалубки прочность бетона зависит от степени ответственности блоков и от того, будет ли при укладке следующих блоков передаваться нагрузка на бетонируемый блок. По техническим условиям на производство и приемку бетонных и железобетонных работ в мелиоративном строительстве сроки распалубки устанавливаются с соблюдением следующих требований:

а) удаление боковых ненесущих элементов опалубки допускается при условии сохранности при этом распалубленной поверхности и кромок углов;

б) удаление несущей опалубки железобетонных конструкций допускается после достижения бетоном прочности в процентах от проектной:

для плит и сводов пролетом до 2 *м*	50
» » » » 2—8 *м*	70
» балок и прогонов пролетом до 8 *м*	70
» несущих конструкций пролетом более 8 *м*	100

Нарастание прочности бетона зависит от температуры и влажности окружающей среды; поэтому сроки распалубки должны устанавливаться полевыми лабораториями.

Распалубку следует выполнять осторожно, чтобы не попортить еще не совсем затвердевший и окрепший бетон и вместе с тем не попортить материал опалубки.

§ 6. ИСПРАВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ БЕТОНА. ТОРКРЕТИРОВАНИЕ

После распалубки проверяют состояние бетонных поверхностей и фиксируют все замеченные дефекты. Основными из них являются раковины, наплывы, трещины, ноздреватость поверхности, недостаточная толщина защитного слоя, слоистость бетона, недостаточная его прочность.

Раковины получаются при плохом уплотнении бетона, щелях в опалубке, через которые вытекает цементный раствор, плохой очистке опалубки, чрезмерно крупном щебне, при расслоении бетона, имеющем гнезда гравия, не связанного раствором. Раковины не только ослабляют бетон, но и способствуют дальнейшему его разрушению; в них попадает вода, вследствие чего ржавеет арматура; при замерзании воды в бетоне появляются трещины. Раковины заделывают немедленно после распалубки (но после актирования дефектов). Их расчищают до здорового бетона проволочными щетками, промывают водой и просушивают; после этого их заделывают с тщательным уплотнением бетоном той же марки, но с более мелким щебнем. Неглубокие, но частые раковины расчищают металлическими щетками, промывают и затирают раствором или штукатурят.

Если бетон имеет ноздреватую поверхность, состоящую из щебенки, слабо связанной раствором, то ноздреватый бетон вырубают до здорового, а образовавшиеся пустоты заделывают бетонной смесью. Заделку раковин после их расчистки производят также торкретированием.

Наплывы образуются при вытекании раствора через щели в опалубке или при разбрызгивании его из-за небрежной укладки вышележащих слоев. Наплывы осторожно срубают, после чего места их затирают цементным раствором.

Трещины в бетоне заделывают нагнетанием в них цементного молока.

Если трещины в массиве возникли в результате непредвиденных деформаций и угрожают целостности и монолитности конструкции, принимаются меры к их заделке по особому проекту.

При недостаточной толщине защитного слоя поверхность насекают и торкретируют.

Слоистость бетона получается при расслоении бетона во время транспортирования, при сбрасывании вниз или при чрезмерно длительном вибрировании. Исправить слоистость невозможно; дефектный бетон необходимо заменить новым.

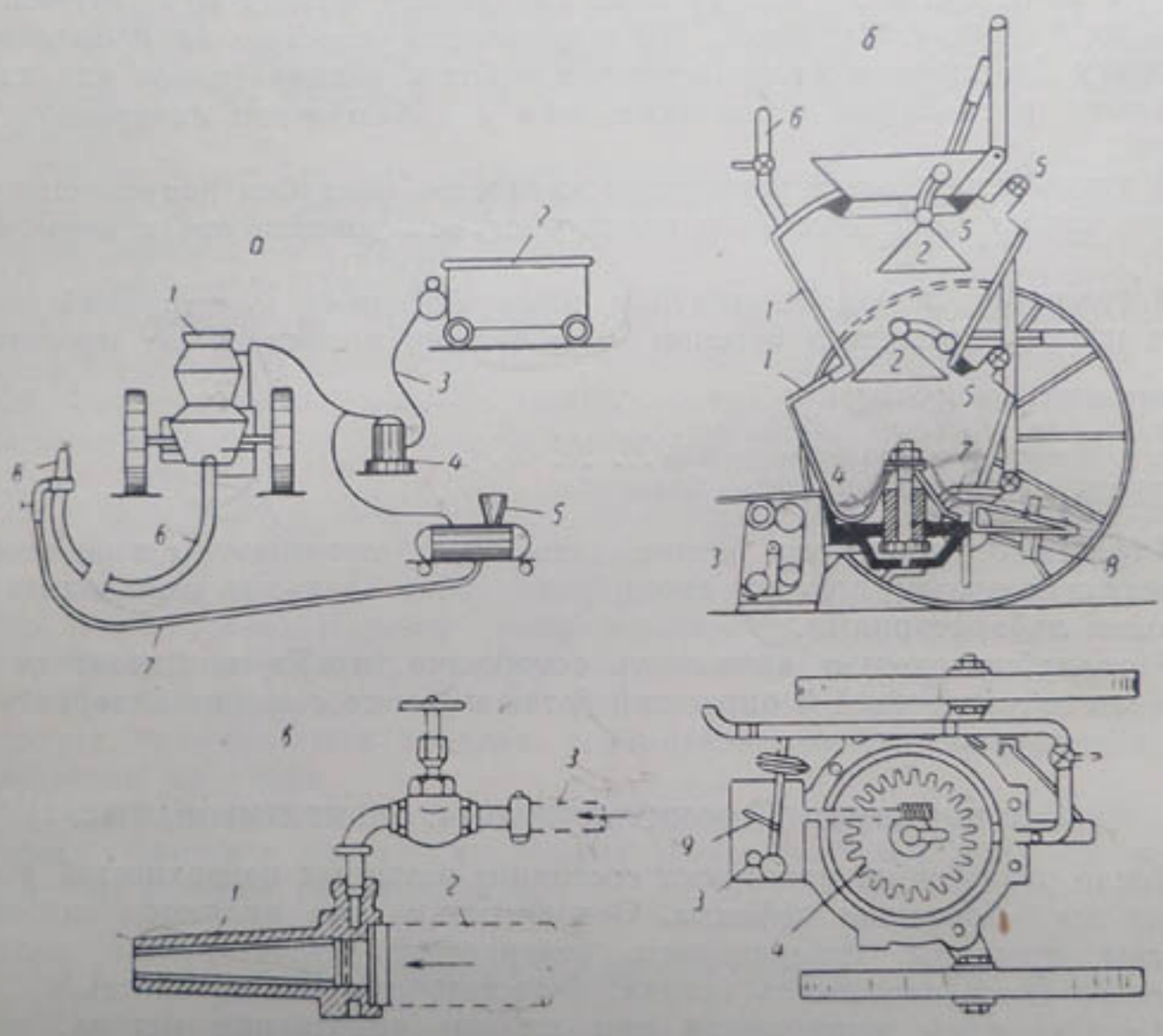


Рис. 278. Цемент-пушка:

а—схема оборудования для торкретирования: *1*—цемент-пушка; *2*—компрессор; *3*—воздухопровод; *4*—воздухоочиститель; *5*—водяной бак; *6*—материальный шланг; *7*—водяной шланг; *8*—сопло. *б*—схема цемент-пушки: *1*—конусообразные камеры; *2*—конические клапаны; *3*—пневмомотор; *4*—регулирующие конусы с нацевидными ячейками; *5*—трубки, подающие сжатый воздух, с иранами; *6*—выпускная трубка; *7*—трубка, подающая сжатый воздух к ячейкам вращающегося конуса; *8*—выдувной штуцер; *9*—кран пневмомотора. *в*—сопло: *1*—сопло; *2*—материальный шланг; *3*—водяной шланг.

Недостаточная прочность бетона на поверхностях блока, сопровождающаяся его побелением, может возникать при слабой поливке и преждевременном высыхании бетона. Частичное исправление может быть достигнуто усиленной поливкой в течение 1—2 недель.

Для заделки раковин и мест расчищенных наплывов применяется торкретирование, т. е. нанесение на поверхность под давлением тонких слоев раствора цемента с песком или мелким гравием (до 8 *мм*). Торкретирование применяется также для создания высокопрочной водонепроницаемой штукатурки.

Установка для торкретирования состоит из цемент-пушки *1*, компрессора *2*, воздухопровода *3*, воздухоочистителя *4*, водяного бака *5*, материального *6* и водяного *7* шлангов (рис. 278,*а*).

Смесь цемента с песком загружается в цемент-пушку, перемешивается в ней и сжатым воздухом проталкивается через материальный шланг к соплу; здесь она смешивается с напорной водой, подаваемой по водяному шлангу. В результате из сопла с огромной скоростью (90—100 *м/сек*) вылетает на обрабатываемую поверхность цементно-песчаный раствор, который по затвердении дает очень плотный и прочный слой.

Производительность цемент-пушки С-165А составляет 1—1,5 $м^3/час$ сухой смеси; расход сжатого воздуха давлением 2,5—3,5 *атм* равен 5 $м^3/мин$; средняя толщина слоя торкрета 20 *мм*; максимальная крупность зерен заполнителя 8 *мм*. Вес пушки 630 *кг*; диаметр материального шланга 32 *мм*, водопроводного 13 *мм* и воздушного 32 *мм*.

Обычно применяют раствор состава 1 : 3, но так как до 30% количества песка отскакивает, то осевший на поверхность раствор имеет состав 1 : 2.

Бригада состоит из оператора при цемент-пушке, сопловщика с подручным и 2—3 рабочих.

Устранение неплотностей за плитами-оболочками и металлическими облицовками—дело в высшей степени сложное и кропотливое. Недостаточно проработанные места за плитами-оболочками можно установить только по наличию течи между бетоном и задней поверхностью плиты; поэтому приходится проводить цементацию по площадям. Неплотности за облицовками определяются при обстукивании молотком, по звуку более высокого тембра, чем в здоровых местах.

§ 7. ПОДГОТОВКА БЛОКОВ К БЕТОНИРОВАНИЮ

Подготовка блоков к бетонированию—ответственная работа, от правильного выполнения которой зависит качество получаемого бетона.

Подготовка основания блоков. Поверхность грунта тщательно осушают, выравнивают и очищают. Слабые грунты (если они есть) заменяют песком с тщательным уплотнением его. На грунт укладывают подготовку из тощего бетона или слоя щебня, прикрытого песком, хорошо уплотненного и политого водой для предотвращения утечки раствора бетона.

Важной мерой подготовки основания под бетон на нескальных грунтах является защита основания от подмыва грунтовыми водами. Наилучший результат в несвязных грунтах дает глубинный водоотлив. При наличии напорных вод их нужно каптировать либо отвести, иначе они будут вымывать цементный раствор из уложенного бетона.

Поверхность скального основания должна быть очищена до крепкой породы; слабую выветренную породу нужно удалить. Трещины и углубления следует очистить от продуктов разрушения и заполнить бетонной смесью. Перед началом бетонирования скалу очищают металлическими щетками, промывают водой, продувают воздухом, увлажняют и покрывают слоем раствора толщиной 1—1,5 *см* (без гравия).

Если скала подвержена быстрому выветриванию, то поверхность ее обрабатывают непосредственно перед началом бетонных работ.

Однако контакт между скалой основания и бетоном все же будет слабым местом сооружения, поэтому нередко после укладки слоя бетона толщиной 4—5 *м* цементируют основание, нагнетая цементный раствор под давлением 4—7 *атм* в скважины, располагаемые через 2,5—10 *м*.

Если блок укладывают на ранее уложенный бетон, то поверхность последнего тщательно очищают от грязи, мусора, щепы и пр., удаляют наплывы, потеки цементного раствора и цементную пленку, которые препятствуют сцеплению старого бетона с новым. Затем на горизонтальной поверхности ранее уложенного бетона делают сплошную насечку на глубину 0,5—3 *см*. Щебенку, непрочно сидящую в бетоне, а также слои бетона с нарушенной прочностью удаляют. Пятна нефти, гудрона, масла срубают до чистого бетона. Раковины расчищают и заделывают. После этого поверхность блока тщательно подметают, промывают водой из брандспойта до тех пор, пока

стекающая вода не станет чистой. Во время промывки поверхность протирают металлическими метлами и проволочными щетками. При промывке блока опалубку также поливают водой во избежание отсасывания влаги из бетона. После промывки продувают поверхность блока сжатым воздухом для просушки и окончательной очистки.

Очистка бетона, опалубки и арматуры считается законченной, если от прикосновения к ним не пачкаются руки. Поверхности блоков, соседних с бетонируемым, подвергаются аналогичной обработке.

Подготовка опалубки. Опалубка должна соответствовать проектным размерам сооружения, быть прочной и устойчивой, плотной, без дыр и щелей, в которые может вытекать цементное молоко. Подробно вопрос об опалубке изложен в главе XXII.

Подготовка арматуры. Арматуру устанавливают в соответствии с чертежами, строго соблюдая размеры стержней и расстояния между ними. Стержни рабочей арматуры прочно связывают со стержнями распределительной и монтажной арматуры в жесткий каркас. Сталь для изготовления арматуры и сварные швы в стыках стержней испытывают перед установкой арматуры в блок.

В случае задержки испытаний и получения их результатов уже после укладки сваренной арматуры, стержни, не выдержавшие испытаний, должны быть усилены на месте их установки. Качество арматуры и сварки подтверждается соответствующим документом (паспортом на арматуру).

Стержни арматуры нужно очистить от грязи, остатков раствора, ржавчины; хороший результат получается при очистке пескоструйными аппаратами. В зимнее время перед бетонированием следует удалять наледь на арматуре струей пара. Выпуска арматуры, выходящие за пределы отогреваемого блока, тщательно утепляют, так как по ним распространяется холод и на арматуру блока.

Погнутую при перевозке и монтаже арматуру следует выпрямить.

Организационные мероприятия. До начала бетонирования блока нужно изготовить надежные лестницы, мостки, приспособления для быстрого опорожнения тары, подвести электроэнергию для осветительной сети и подключения механизмов, обеспечить подачу воды, сжатого воздуха, закончить пути для подачи бетонной смеси к блоку и спуска в блок.

В блок следует доставить достаточное количество вибраторов (по расчету).

Рабочие нужной квалификации должны пройти обучение на краткосрочных курсах бетонщиков. Наряды выдают бригаде заблаговременно и в соответствии с ними заранее распределяют рабочих по местам, разъясняя им их обязанности. Способ подачи бетонной смеси и ее обработки указывают в специальной технологической карте, которую вывешивают у места выполнения работ.

§ 8. ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЕ БЛОКОВ ПЕРЕД БЕТОНИРОВАНИЕМ И ПОСЛЕ РАСПАЛУБКИ

Выше были перечислены дефекты, которые зависят от нарушения технологии бетонных работ. Необходимо тщательно освидетельствовать работы, чтобы по окончании строительства можно было восстановить подробную картину, из каких деталей собран блок, каково качество арматуры, наружной облицовки, монолитного или сборного железобетона, закладных частей. Поэтому перед началом бетонирования представители строительства и дирекции строящегося предприятия проверяют готовность блока к бетонированию. Качество арматуры подтверждается паспортом, в котором указываются количество и диаметр стержней, их взаимное расположение и места стыков, фамилия и квалификация сварщика. Прикладывается подлинный сертификат завода на арматуру, а также результаты лабораторного испытания (на разрыв до разрушения) образцов арматуры и стыков. Кроме того,

отбираются стыки для испытания на разрыв; в самом блоке производится геодезический замер армокаркаса, а также замер толщины защитного слоя. Чистоту арматуры проверяют на месте.

Качество изделий сборного железобетона подтверждается паспортом завода, к которому прикладывают данные об армировании. Специальным актом подтверждается факт напряжения арматуры и ее омоноличивания. Для вновь осваиваемых или массовых, особо ответственных конструкций могут быть проведены испытания до разрушения конструкции. Проверяют омоноличивание конструкции с ранее возведенными, расположение конструкций в плане и по высоте, плановое расположение закладных деталей и вертикальность стальных направляющих конструкций. Трубопроводы проверяют продувкой, а их свободные концы закрывают пробками. Качество покраски поверхностей, правильность устройства шпонок и закрепления опалубки, а также степень подготовки механизмов для ведения бетонных работ отмечают в акте, составленном на месте.

Акты приемки блоков предъявляют приемочной комиссии при сдаче готовых сооружений.

Интенсивность подачи смеси, ее пластичность должны соответствовать особенностям бетонируемого блока; всякое отступление от установленной технологии приводит к снижению качества. Недостаток рабочих, нехватка вибраторов, ненадежная подвеска хоботов, плохое раскрепление опалубки или плит-оболочек, незаконченная очистка блока—все это может снизить качество бетона. Особое внимание надо обратить на средства охлаждения или обогрева бетона и ухода за ним.

В процессе укладки лаборатория отбирает образцы бетона (набивки кубиков) и хранит их в блоке, т. е. в условиях, в которых происходит твердение бетонной смеси, ведет подробное описание и замер положения бетона на конец смены, фиксирует все дефекты работ и дает указание по исправлению (вырубка, инъектирование). Кубики испытывают на раздавливание.

§ 9. ПОДВОДНОЕ БЕТОНИРОВАНИЕ

При гравелистом дне котлована в русле реки, огражденном перемычками, для осушения может потребоваться водоотлив большой мощности. В подобных случаях иногда применяется подводное бетонирование с укладкой под воду бетонной плиты в основании сооружения; только после этого приступают к водоотливу, мощность которого резко снижается.

При подводной укладке нельзя допускать размыва свежеуложенного бетона текущей водой, а также свободного падения бетона через слой воды.

Пластичный бетон подают на дно котлована через вертикальную трубу, железную или деревянную, диаметром 20—30 *см*. Бетон поступает в трубу через воронку; дно трубы закрывается задвижкой. Трубу с закрытой задвижкой устанавливают под водой и заполняют бетонной смесью. Затем задвижку открывают, несколько приподнимают трубу и бетонная смесь начинает поступать под воду (рис. 279, *а*.) Когда бетонная смесь поднимется выше низа трубы на 1 *м*, трубу постепенно поднимают, подавая непрерывно бетонную смесь в воронку с тем, чтобы нижнее отверстие трубы постоянно было ниже поверхности вытекающей бетонной смеси не менее чем на 1 *м*. Бетон все время поступает снизу, поднимая верхний слой; только этот слой и соприкасается с водой. Радиус действия трубы 3—3,5 *м*.

На Свирьстрое и других стройках при подводном бетонировании применяется метод восходящего раствора (рис. 279, *б*). В огражденном котловане через 4—6 *м* устанавливают шахты *1* из вертикально поставленных рельсов, соединенных между собой швеллерами. Пространство между шахтами заполняют камнем *2*. Трубу *3*, подающую раствор, опускают почти до дна колодца и через нее под небольшим напором подают цементный раствор; последний

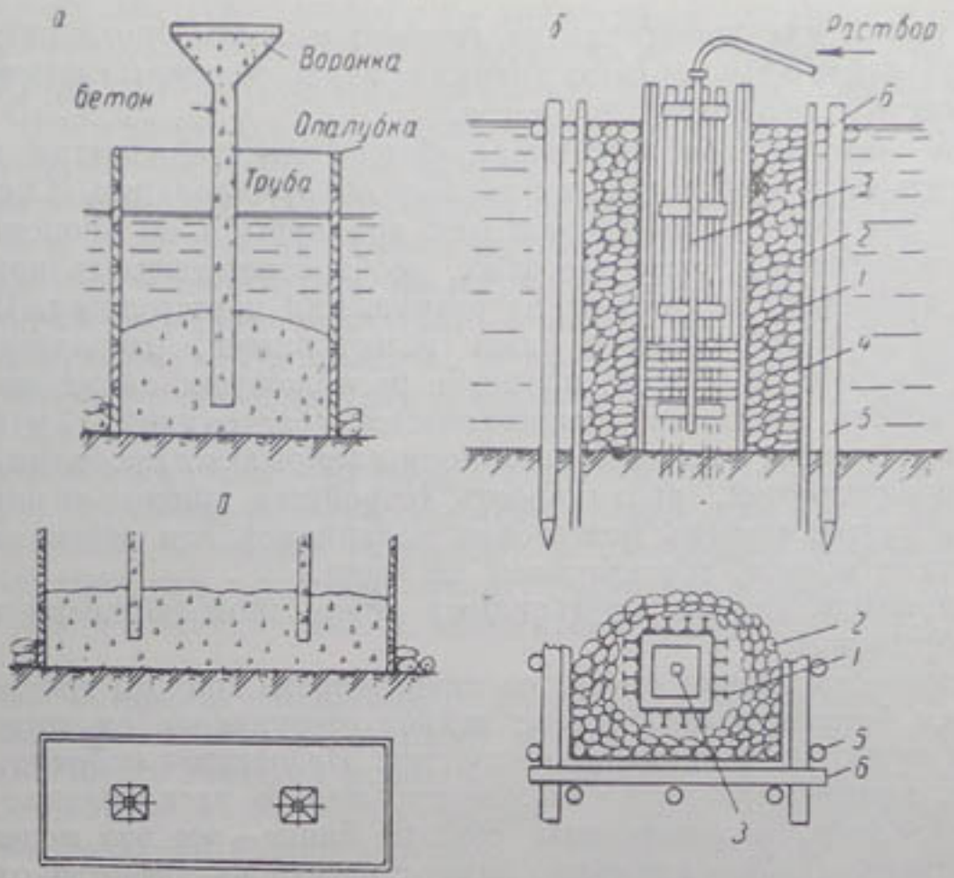


Рис. 279. Подводное бетонирование:

а—по методу вертикально перемещающейся трубы: *I*—бетонирование одного массива небольшой трубой; *II*—одновременное бетонирование двумя трубами. *б*—по методу восходящего раствора: *1*—шахта из рельсов; *2*—забросна камнем; *3*—труба, подающая раствор под напором; *4*—шпунт; *5*—сваи; *6*—горизонтальные направляющие схватки.

поднимается вверх, растекается с пологим уклоном, вытесняет воду и постепенно заполняет пустоты между камнями. Для лучшего заполнения этих пустот желательно подбирать камни примерно одинакового размера, диаметром 20—30 *см*.

Глава XX

ПРОИЗВОДСТВО БЕТОННЫХ РАБОТ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ

§ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Зимние бетонные работы[1] получают все большее распространение в нашей стране. Так, на строительстве волго-донских сооружений в зимних условиях было выполнено около 30%, а на Куйбышевгидрострое—42,3% общего объема бетонных работ.

В связи с развертыванием гидроэнергетического строительства в Сибири доброкачественное и быстрое выполнение зимних бетонных работ приобретает особо важное значение.

При производстве бетонных работ в зимних условиях должны быть решены следующие основные вопросы.

1. Выбор цемента и водоцементного отношения с тенденцией к его снижению, выбор добавок для ускорения твердения.

2. Подогрев воды и заполнителей до их поступления на завод, а также воды и заполнителей на заводе; отепление бетонного завода и бетонного хозяйства.

3. Снижение потерь тепла в бетонной смеси при ее транспортировании.

---

[1] В. Ф. Булаевский. Зимние бетонные работы на строительстве гидротехнических сооружений. Госстройиздат, М., 1953.

4. Обеспечение тепловлажностных условий укладки и выдерживания бетона.

5. Создание надлежащих условий при распалубке.

§ 2. ВЛИЯНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР НА УСЛОВИЯ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ; ДОБАВКИ, ВОДОЦЕМЕНТНОЕ ОТНОШЕНИЕ

При повышении температуры воздуха в блоке начало схватывания бетонной смеси наступает раньше, а процесс схватывания в условиях необходимой влажности протекает более интенсивно; при снижении температуры происходят обратные явления.

С переходом воды в твердое состояние схватывание цементного теста прекращается; вода, расширяясь при замерзании, нарушает структуру бетонной смеси. Бетон, замороженный в раннем возрасте, даже при дальнейшем его твердении в нормальных условиях, имеет значительно меньшую прочность, более водопроницаем, сцепление его с арматурой снижено; что касается многократного оттаивания и замораживания бетона, набравшего к моменту замораживания лишь небольшую прочность, то такой бетон вовсе не удовлетворяет требованиям технических условий. Последние требуют выдерживания бетона, укладываемого в зимнее время, «в соответствующих тепловлажностных условиях до момента приобретения им прочности, достаточной для распалубки, но не менее 50% от марочной прочности бетона, твердевшего в нормальных условиях». Для бетонов, приготовленных на обыкновенных цементах, такая прочность достигается обычно не ранее чем через 5—7 дней, а для бетонов, в которые введены активные кремнеземистые добавки,—не ранее чем через 15 дней; введение раствора NaCl ускоряет набор прочности.

Наиболее опасны первые 6—8 часов после затвердения, так как процесс тепловыделения цемента начинается не сразу. В состав быстросхватывающихся цементов с высокой активностью и повышенным тепловыделением входит трехкальциевый аллюминат $3CaOAl_2O_3$. Однако для массивных блоков гидросооружений его содержание свыше 5—6% не рекомендуется во избежание температурно-усадочных трещин, а также вследствие снижения морозостойкости и стойкости бетона при перемешанном увлажнении.

Для ускорения твердения бетона в армированных конструкциях в раннем возрасте технические условия рекомендуют применение хлористого кальция в размерах не более 2% от веса цемента.

Применение хлористого кальция снижает температуру замерзания воды, что позволяет при колебаниях температуры наружного воздуха в пределах от $+5$ до $-5°$ ограничиться его добавкой в указанных размерах без полного перехода на зимние условия производства работ; технические условия не рекомендуют более высокие добавки хлористого кальция ввиду опасности ржавления арматуры. Однако значительное ускорение начала схватывания (примерно, в $2^1/_2$ раза при 1,5% добавке хлористого кальция) создает серьезные затруднения при укладке бетонной смеси и заставляет ограничивать площади блоков.

Водоцементное отношение $\frac{В}{Ц}$ оказывает большое влияние на прочность бетона данного состава; уменьшение его при зимних работах дает возможность увеличить прочность бетона и сделать его менее чувствительным к действию мороза. Однако уменьшение $\frac{В}{Ц}$ снижает подвижность бетонной смеси и затрудняет ее обрабатываемость; пластифицирующая добавка, обычно сульфатно-спиртовой барды (ССБ), в небольшом проценте не только увеличивает подвижность бетонной смеси, но повышает также морозостойкость и водонепроницаемость; с увеличением добавки ССБ твердение бетона резко замедляется. Пластифицирующее действие ССБ проявляется вследствие образования на поверхности цементных частиц тонких пленок и расщепления

частиц цемента; по указанным причинам устраняется слипание частиц между собой, увеличивается подвижность бетонной смеси и ее удобообрабатываемость. По данным Волгодонстроя, где с добавкой ССБ в количестве от 0,1 до 0,2% от веса цемента в пересчете на сухое вещество барды уложено около 50% всего бетона, добавка дала возможность уменьшить $\frac{В}{Ц}$ на 0,04—0,05 и благодаря этому сократить расход цемента.

§ 3. ПОДОГРЕВ ВОДЫ И ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ; ОТЕПЛЕНИЕ БЕТОННОГО ЗАВОДА И БЕТОННОГО ХОЗЯЙСТВА

При среднесуточных температурах наружного воздуха от 0 до +5° затвердение бетонной смеси следует вести на подогретой воде; подогрев заполнителей начинается позднее, при среднемесячных температурах ниже минус 5°. Такая последовательность объясняется тем, что проще нагревать воду, чем заполнители, а также тем, что вода имеет почти в пять раз бóльшую удельную теплоемкость, чем заполнители.

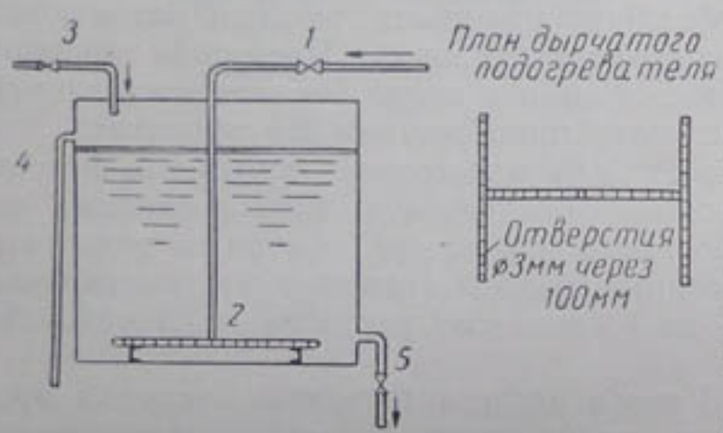


Рис. 280. Схема подогрева воды острым паром:
1—паропровод диаметром 50 мм; *2*—дырчатый подогреватель; *3*—водопровод; *4*—переливная труба; *5*—горячая вода к дозатору.

Подогрев обычно ведут двумя ступенями, сначала в специальных бункерах обогрева, располагаемых вне бетонного завода, а затем в бункерах завода, где компоненты бетона дополнительно подогреваются до расчетной температуры.

Вода обычно нагревается острым паром, выпускаемым через дырчатые трубки-обогреватели (рис. 280); в этом случае максимально используется теплосодержание пара.

Добавку ССБ в воду нельзя вводить одновременно с подачей острого пара, так как под действием его ССБ выпадает в виде твердого осадка. Вода подогревается до температуры 60—70°; подогрев воды до температуры выше 80° не разрешается во избежание «заваривания» цемента, из-за мгновенного образования на его зернах при соприкосновении с горячей водой тонкой пленки, препятствующей гидратации цемента.

Песок нагревается закрытым паром, циркулирующим в трубах (змеевиках), так как при нагреве его острым паром песок сильно увлажняется, что затрудняет дозировку воды. Песок подогревается до температуры 40—50°.

Крупный заполнитель подогревают обычно острым паром до 30—40° (рис. 281).

Нагрев песка закрытым паром значительно дороже нагрева острым паром крупных заполнителей; поэтому их обычно нагревают в первую очередь, а песок—лишь тогда, когда подогрев воды и крупных заполнителей не обеспечивает расчетную температуру бетонной смеси. Подогрев цемента не разрешается. Чтобы не «запарить» цемент, горячая вода вводится после заполнителей.

Температура бетонной смеси при выходе из бетономешалки не должна превышать 35—40°.

Бетонные заводы сборно-разборной конструкции не нуждаются в дополнительном отеплении, так как все ограждающие конструкции рассчитаны на действие морозов. Другие помещения при заводе (бункеры подогрева, бардоприсадочная) должны быть утеплены, так же как и цементопровод, если цемент подается сжатым воздухом.

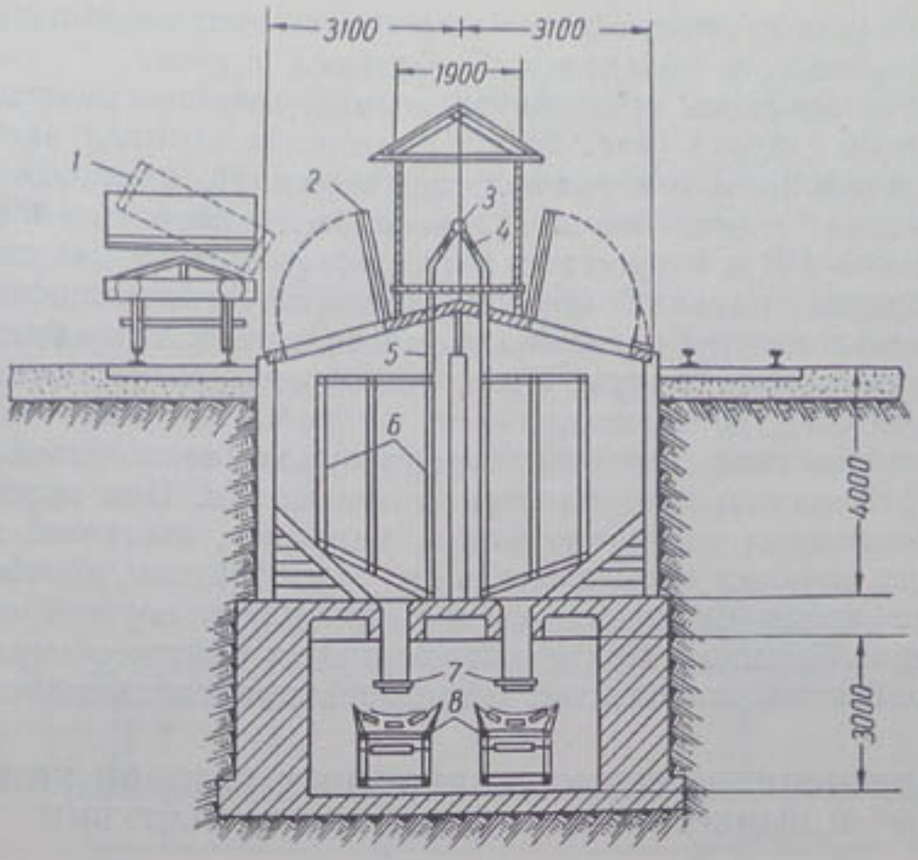


Рис. 281. Устройство для подогрева крупного заполнителя в траншейном бункере:

1—вагон; *2*—крышка люка; *3*—магистральный паропровод; *4*—регулирующий кран; *5*—паропровод диаметром 150 *мм*; *6*—дырчатые трубы; *7*—затвор; *8*—транспортеры.

Галереи для подачи заполнителей на завод и бетонной смеси в блок (при транспортерной подаче) должны быть утеплены. Погружать бетонную смесь на автосамосвалы рекомендуется в закрытом помещении.

§ 4. СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ТЕПЛА В БЕТОННОЙ СМЕСИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ

Потери тепла в бетонной смеси во время транспортирования и укладки резко снижаются при высоких темпах работ и безостановочном движении транспорта; увеличение скорости и применение утепленной тары возможно большего объема оказывают положительное влияние на уменьшение потерь. В зимнее время рекомендуется работать без перегрузок бетонной смеси до места укладки; приборы порционного транспорта должны иметь крышки; по возможности следует утеплять и кузова тары. Места нагрузки и разгрузки бетонной смеси должны быть защищены от ветра и утеплены. При укладке бетонной смеси бадьями надо содержать затворы в чистоте и следить за тем, чтобы они не обмораживались. По окончании работы и во время перерывов тару очищают от грязи, пользуясь паром или горячей водой; перед началом работ бетономешалку и тару прогревают.

При подаче бетонной смеси автотранспортом кузов покрывают одеялами

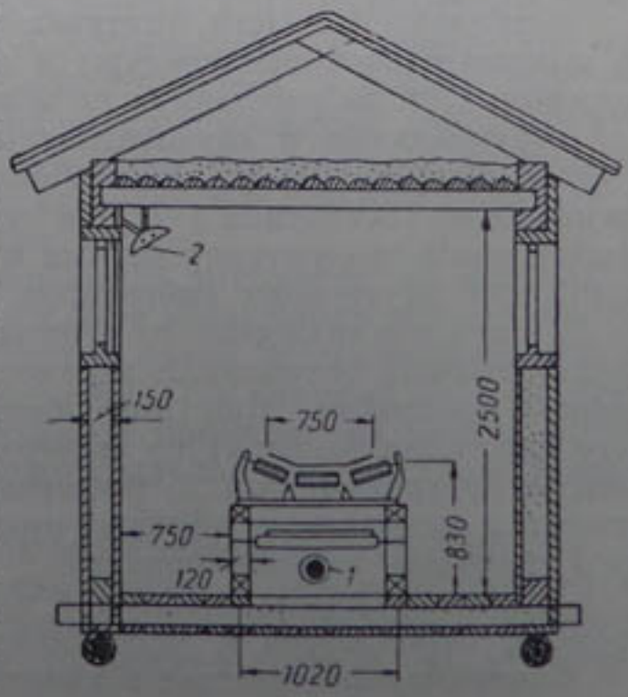


Рис. 282. Утепленная и отапливаемая галерея магистрального транспортера:

1—паропровод; *2*—отражательная электропечь.

из шевелина и мешковины, скатывающимися в рулон при загрузке и разгрузке, или брезентом, свисающим с бортов.

Если бетонная смесь подается транспортерами, то последние помещают в утепленные галереи (рис. 282), защищенные от продувания, для чего рекомендуется обшивать галереи снаружи толем. По опыту Волгодонстроя, при непрерывной подаче бетонной смеси интенсивностью 60—80 $м^3/час$, морозах не более 18° и отсутствии ветра галереи можно не отапливать.

Целесообразно применять паровое отопление, проложенное ниже транспортерной ленты; по трубам можно подавать пар для прогрева основания блока и для отопления шатра. При дешевой электроэнергии можно отапливать галереи электропечами.

Если бетонная смесь подается бетононасосами, то насосная должна быть помещена в утепленном и отапливаемом помещении. При морозах не более 10° звенья бетоновода следует утеплять, например, шлаковой ватой, а при более сильных морозах прокладывать его в утепленном коробе.

В зимнее время бетоновод обычно промывают горячей водой; однако после промывки бетоновод при больших морозах быстро обмерзает; поэтому более целесообразно для очистки бетоновода применять сжатый воздух.

§ 5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ УСЛОВИЙ УКЛАДКИ И ВЫДЕРЖИВАНИЯ БЕТОНА ДО РАСПАЛУБКИ

Бетонную смесь необходимо укладывать на непромороженное основание, для чего выемку следует добирать до проектной отметки перед самым началом бетонирования. При незначительных морозах разрешается укрывать дно котлована теплоизоляционными материалами (соломенными или камышитовыми матами и пр.); при больших морозах для защиты основания рекомендуется применять легкие переносные тепляки.

Если все же по каким-либо причинам основание промерзло, можно применить электрооттогрев грунта горизонтальными электродами—при небольшой глубине промерзания (0,5—0,7 *м*) и вертикальными—при более значительной глубине; следует иметь в виду, что замороженная и отогретая глина теряет свою структуру и подлежит удалению.

Перед укладкой бетонной смеси на старый бетон его прогревают до температуры не ниже +10°; прогревают также арматуру и опалубку, после чего поверхность бетона и арматуру высушивают сжатым воздухом для удаления конденсационной воды.

Металлические части, выступающие из утепленной опалубки, отогревают до положительной температуры и затем утепляют войлоком, паклей, рогожами и т. п. на расстоянии не менее 1,5 *м* от блока.

Вертикальные и горизонтальные поверхности блоков, примыкающих к бетонируемому блоку, должны быть отогреты, особенно в углах, и затем утеплены на расстоянии 1—1,5 *м* от нового блока. Чтобы сохранить тепло, необходимо вести укладку слоями предельной толщины (30—50 *см*), допустимой для внутренних вибраторов.

В случае вынужденного перерыва в бетонировании необходимо немедленно утеплить открытую поверхность бетона, желательно с созданием воздушной прослойки. Для этого бетон укрывают брезентом и подают под него пар. Если температура затвердевшего бетона упала ниже +5°, то его следует прогреть паром до температуры +10° и затем возобновить бетонирование с соблюдением обычных правил сопряжения слоев после вынужденного перерыва в бетонировании.

Для теплозащиты уложенной в блок бетонной смеси применяют способ термоса, паропрогрев и электрообогрев.

Способ термоса состоит в укладке бетона в утепленную опалубку и устройстве утепления сверху, с подогревом воды и заполнителей; при этом бетонная смесь медленно теряет тепло, полученное от подогрева и начального твердения бетона.

Этот способ применим в том случае, если запаса тепла в бетонной смеси хватает для того, чтобы в процессе остывания бетон успел достигнуть той прочности, при которой он может замерзнуть без ущерба для конечной прочности.

Способ термоса применяется для массивных конструкций с модулем поверхности $M_п$ (отношение поверхности блока к его объему) меньше пяти. Если по теплотехническому расчету запаса тепла окажется недостаточно, то переходят к комбинированному обогреву бетона, например к сочетанию способа термоса с пароподогревом или электрообогревом. Пределы применения способа термоса могут быть значительно расширены при использовании высокотермичных цементов и ускорителей твердения. Если морозы не превышают 10°, то способ термоса может быть применен даже при модуле поверхности, равном 10—12.

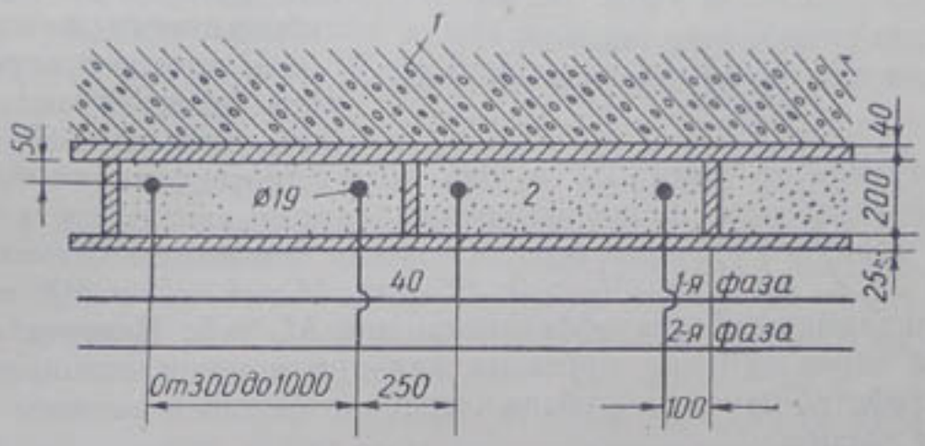


Рис. 283. Схема электротермоактивной опалубки:
1—бетонная смесь; *2*—опилки.

Для дополнительного обогрева блока, бетонируемого по способу термоса, если блок остывает слишком быстро, применяется также электротермоактивная опалубка (рис. 283); ее запрещается применять для блоков первого яруса, расположенных на влажном грунте. При сильных ветрах (более 6 *м/сек*) блоки с наветренной стороны должны, по технологическим правилам Куйбышевгидростроя, дополнительно ограждаться теплоизоляционными материалами.

Способ термоса широко распространен на стройках: на Волгодонстрое этим способом было уложено более 95% бетона, а на Куйбышевгидрострое 75%. Следует отметить, что на Куйбышевгидрострое в первые три зимы способом термоса укладывалось 92,5—99,7% бетона, а в зимы 1955/56 и 1956/57 гг.—только 40,7%; зато расширилось применение электропрогрева до 40,7—54,8% бетона[1]. Причиной этого была значительная трудоемкость работ по отогреву мерзлых бетонных поверхностей основания, на что требовалось 3—4 дня при морозах больше 15°.

Зимнюю опалубку при морозах меньше 5° выполняют из обычных щитов, но с толщиной досок не менее 50 *мм*. При увеличении морозов обычную опалубку утепляют войлоком, минеральной ватой, асбестоцементными листами, шевелином, соломитом или камышитом. При сильных морозах ставят двойную опалубку (рис. 284) и заполняют пространство между досками опилками, стружками, торфом, котельным шлаком или другими теплоизоляционными материалами.

Опалубка из плит-оболочек не создает необходимых условий для применения способа термоса; поэтому нужно ставить с наружной стороны оболочек утепленную опалубку или покрывать плиты-оболочки теплоизоляционными материалами; для этого применяют одеяла из мешковины,

[1] Б. В. Михайлов. Производство бетонных работ в зимнее время на строительстве Куйбышевского гидроузла. Куйбышев, 1957.

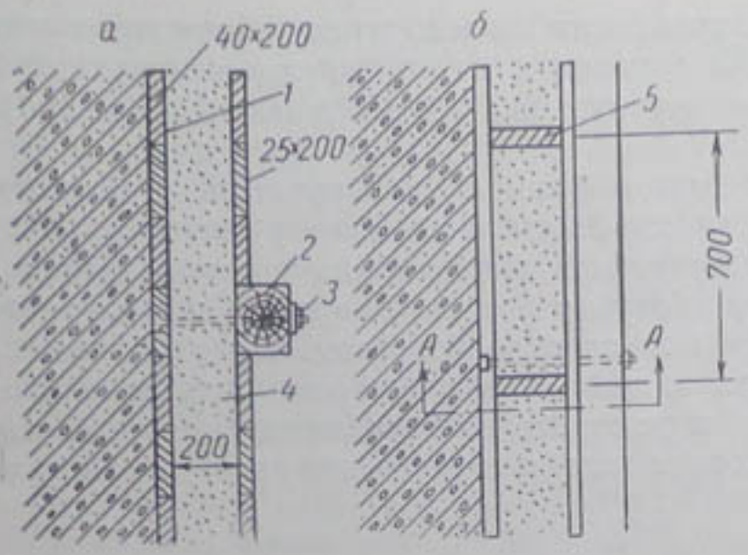


Рис. 284. Утепленная опалубка:
1—толь; *2*—прогон; *3*—болт; *4*—засыпка опилками; *5*—стойка.

заполненной шлаковатой, камышитовые и соломенные маты, древесно-волокнистые плиты и т. п. Перечисленные материалы пожароопасны, особенно в условиях выполнения сварочных работ.

Паропрогрев бетона. Прочность бетонной смеси при нагревании для всех цементов нарастает лишь в течение 12—24 часов; поэтому и длительность прогрева лежит в указанных пределах. Более длительный прогрев не эффективен и экономически не оправдан.

В начале прогрева температура бетонной смеси не должна быть меньше +5°, а интенсивность прогрева—не выше 20° в час. Для предохранения от местного перегрева бетона пар, непосредственно соприкасающийся с ним, предварительно пропускают через воду. Скорость остывания бетона не должна превышать 3° в час при $M_п > 3$; 6° при $M_п = 4 \div 8$ и 10° при $M_п > 8$.

Пропаривание наиболее эффективно при $M_п > 5$. Прогрев обычно осуществляется через паровые рубашки или при помощи «капиллярной» опалубки. Устройство паровых рубашек требует большой затраты материалов и обходится дорого.

При капиллярной опалубке (рис. 285) пар пропускается в пазы, выбранные в опалубке со стороны, обращенной к бетону; чтобы не допустить проникновения цементного молока в пазы, они перекрываются полосками фанеры или кровельной стали.

Так как по горизонтальным «капиллярам» пар распространяется не далее 2 *м*, то рекомендуется производить прогрев по вертикальным каналам (опалубка колонн, стен).

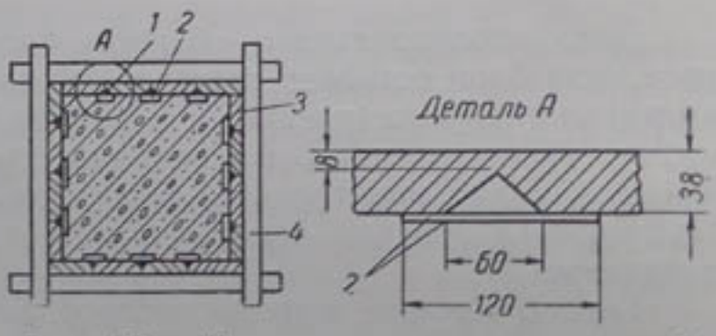


Рис. 285. Щитовая капиллярная опалубка конструкции А. А. Вацуро:
1—паропроводные каналы; *2*—прокладки из фанеры или кровельной стали; *3*—доски опалубки; *4*—хомуты.

Паропрогрев на Куйбышевгидрострое почти не применялся (0,4% от общего объема зимней укладки бетона), вследствие его высокой трудоемкости и большого расхода строительных материалов.

Электропрогрев. При электропрогреве применяются поверхностные электроды в виде пластинок и полос, нашиваемых на щиты, либо внутренние электроды—стержневые, струнные.

Интенсивность повышения температуры при электропрогреве не должна превосходить 8° в час при $M_п > 6$ и 5° в час при $M_п < 6$.

Чтобы не пересушить бетонную смесь и уменьшить расход электроэнергии, не рекомендуется прогревать бетон после того, как прочность его достигнет 50% проектной величины—для массивов и 70%—для тонких конструкций. По окончании прогрева опалубку и теплозащиту не снимают до тех пор, пока бетон не остынет до +5°.

Периферийный электропрогрев[1] получил за последние годы широкое

[1] Б. В. Михайлов. Производство бетонных работ в зимнее время на строительстве Куйбышевского гидроузла. Куйбышев, 1957; К. В. Алексеев. Бетонирование массивных блоков гидротехнических сооружений в зимних условиях методом периферийного электропрогрева, Госэнергоиздат.

распространение (Горьковгэсстрой, Куйбышевгидрострой). Ниже кратко описывается опыт этих строек.

Электродную сеть из проволоки диаметром 6—8 *мм* устанавливали на расстояниях 25—35 *см*. Размещение электродов в углах блоков было обязательным: здесь расстояние между проволоками уменьшалось до 15—25 *см*. Проволоку прибивали гвоздями к опалубке. Электроды размещали по боковым поверхностям блока и по его основанию. По высоте блоков электродная сеть делилась на ярусы 2—2,5 *м*; в некоторых случаях (в блоках с большим модулем поверхности, при интенсивной подаче бетонной смеси и морозах не больше 20°) высоту ярусов увеличивали до 4,5—5 *м*.

Во время бетонирования яруса применяется электрический ток напряжением 60—65 *в*, а после окончания—87 *в*.

В зависимости от температуры наружного воздуха прогрев продолжался 24 часа при морозах 15°, 36 часов при 20° и 48 часов при морозах 25°.

Если бетон приготовлялся на пуццолановом цементе, сроки прогрева увеличивались в полтора раза. Температура прогрева бетона должна быть не ниже +15 и не выше +35°.

Ориентировочные сроки прогрева обеспечивают до замерзания прочность бетона на сжатие в пределах 60—70 *кг/см*^{2}. Бетонная смесь укладывалась в блоки, практически холодные, очищавшиеся без промывки водой и паром, но продутые сжатым воздухом. Отсутствие обогреваемых шатров и «сухая» подготовка блоков уменьшили расход пара на 150 *кг/м*^{3} зимнего бетона.

Мерзлые бетонные поверхности смежных блоков не отогревались перед бетонированием, если их температура была не ниже —10°.

Опыт Куйбышевгидростроя показал, что при укладке на мерзлое бетонное основание сопряжение может быть доброкачественным, если температура бетонной смеси превышает температуру мерзлого бетона на 5° и более.

Открытые поверхности закладных частей, ребра блоков и выступающая арматура большого диаметра (свыше 40 *мм*) отеплялись на участке, прилегающем к опалубке на 0,5 *м*.

При периферийном обогреве применялась обычная (летняя) опалубка из досок толщиной 40 *мм*, которая примерно в два раза дешевле зимней утепленной опалубки; вместе с тем это упрощало производство опалубочных работ[1].

Периферийному прогреву свойственно автоматическое саморегулирование, так как по мере нарастания прочности бетона сила тока, в связи с увеличением сопротивлений, уменьшается; по достижении бетоном необходимой прочности электрообогрев автоматически прекращается.

Удельное сопротивление бетонной смеси в начальные сроки ее твердения можно уменьшить в 2—3 раза при добавке хлористых солей; это имеет большое значение, если необходимо повысить мощность прогрева без повышения напряжения тока и уменьшения расстояния между электродами. Так как небольшие добавки хлористого кальция (по 2% от веса цемента) ускоряют твердение бетона в раннем возрасте, не вызывая коррозии арматуры, и повышают удобообрабатываемость бетонной смеси, то их добавку при периферийном электрообогреве можно рекомендовать.

На Горьковгэсстрое расходовалось 2,4 *квт·ч* электроэнергии на 1 *м*^{3} бетона, а дополнительные затраты на электроды, рабочую силу и другие расходы не превышали 1 руб. на 1 *м*^{3} бетона; на Куйбышевгидрострое расход энергии на 1 *м*^{3} бетона колебался, в зависимости от модуля поверхности, от 4 до 10 *квт·ч*, а затраты на предохранение бетона от замерзания на 1 *м*^{2} были не более 8 руб. и изменялись, в зависимости от модуля поверхности, от 2,5 до 8 руб. на 1 *м*^{3} бетона. Затраты же на отепление блоков, облицованных плитами-оболочками, одеялами из мешковины с прослойками минеральной ваты, при проектной двукратной оборачиваемости составляли 26 руб. на 1 *м*^{2} (с учетом возврата).

---

[1] К. В. Алексеев. Теория и практика периферийного электропрогрева бетона. Куйбышев, 1957.

К преимуществам периферийного электрообогрева по сравнению со способом термоса относятся: а) значительное снижение стоимости работ; б) упрощение и удешевление опалубки, отсутствие необходимости в ее утеплении; в) упрощение подготовки блоков и сокращение срока их подготовки к бетонированию, так как практически нет надобности обогревать блок перед бетонированием; г) возможность отказа от обогреваемых шатров.

Применение электрообогрева требует высокой культуры организации работ.

Успешное применение периферийного электрообогрева, уже проверенного на стройках в крупном масштабе, и его экономичность позволяют рекомендовать его для широкого применения на гидротехнических стройках, в частности на сибирских.

Обязательным условием успеха периферийного обогрева служит непрерывный контроль за температурой бетона и увеличением напряжения в сети, обогревающей бетон. В начале укладки, когда люди работают в блоке, напряжение, получаемое от сварочных трансформаторов, дается наименьшее; рабочие снабжены защитными приспособлениями (резиновой обувью, перчатками). По окончании укладки, когда люди ушли, а бетон начал подсыхать и, следовательно, увеличилось его сопротивление, напряжение возрастает или включается промежуточная (сближенная) сеть проводов.

§ 6. КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ И СРОКИ РАСПАЛУБКИ

В зимнее время необходимо регулярно наблюдать за температурой наружного воздуха, бетонируемых блоков, воды в обогреваемых баках, за температурой в бункерах заполнителей.

Температура бетонной смеси измеряется при выходе из бетономешалки, при доставке в блок и перед перекрытием следующего слоя. Температуру измеряют как на поверхности, так и внутри бетона.

Ни полное, ни частичное удаление боковой опалубки в зимних условиях не допускается до тех пор, пока прочность бетона не достигнет 50% проектной величины.

Распалубку блоков на морозе можно производить лишь при охлаждении бетона до +5 и при условии, что разность температур внутри массива и на поверхности под опалубкой будет менее 15°. Разница среднесуточной температуры наружного воздуха и бетона на глубине 5 *см* к моменту распалубки не должна быть больше —20° при прочности бетона на сжатие 100 *кг/см*^{2}, —30° при прочности 101—150 *кг/см*^{2} и —40° при прочности свыше 150 *кг/см*^{2}.

Новые способы обработки бетонных поверхностей позволяют значительно сократить сроки распалубки[1].

Глава XXI

АРМАТУРНЫЕ РАБОТЫ

§ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Арматурные работы на строительстве гидротехнических сооружений из монолитного железобетона имеют важнейшее значение во всем цикле работ.

Растут объемы и темпы выполнения бетонных работ, возросли и размеры сооружений. В связи с этим значительно увеличились трудности установки арматуры в блоках из отдельных арматурных стержней.

Впервые в практике гидротехнического строительства на Рыбинском и Угличском гидроузлах Волгостроя прутковая арматура была заменена

[1] Технологические правила производства бетонных работ на Куйбышевгидрострое. Куйбышев 1955.

сварными армоконструкциями, изготовленными в специальных цехах арматурного завода. На Волгодонстрое 73% всей арматуры было уложено в виде армоконструкций различного типа; на Куйбышевгидрострое процент штучной арматуры был совсем незначительным.

На современных гидростройках широко применяется армирование блоков армоконструкциями, заранее изготовленными на заводах. Благодаря этому уменьшается время на подготовку блоков к бетонированию, что оказывает существенное влияние на ускорение темпов бетонных работ, особенно при применении арматурно-опалубочных блоков; в них уже на заводе к арматурной конструкции прикрепляется опалубка, или часть арматуры заделана бетоном.

Опыт строительства Цимлянского гидроузла показал, что применение армоконструкций сократило сроки подготовки блоков под укладку бетона в 5—11 раз[1]. Это весьма существенно, так как изготовление и монтаж арматурных конструкций и установка опалубки занимают до 60% времени (а иногда и больше), необходимого на подготовку блока к бетонированию.

В настоящее время применяется арматура диаметром до 90 *мм*, в том числе горячекатаная и холодносплющенная периодического профиля; электродуговая сварка такой тяжелой арматуры нерациональна в экономическом отношении и с точки зрения качества; кроме того, для оперирования тяжелыми стержнями в блоке требуется крановое оборудование.

Для изготовления армоконструкций, вес которых достигает 10—15 *т*, длина 30 *м*, высота 7 *м*, на арматурном заводе строят цех армоконструкций, оснащенный тяжелыми кранами.

Чтобы упростить перевозки тяжелых армоконструкций, арматурные заводы следует располагать возможно ближе к строящемуся сооружению.

При строительстве небольших гидросооружений с арматурой незначительных диаметров на ирригационных системах, разбросанных на значительных расстояниях, применение армоконструкций не всегда рационально. При строительстве головных сооружений на ирригационных системах (плотин, шлюзов) применение армоконструкций можно широко рекомендовать.

§ 2. МАТЕРИАЛ ДЛЯ АРМАТУРНЫХ РАБОТ

В качестве арматуры гидротехнических сооружений применяются стали следующих марок и профилей[2]:

1) проволока стальная круглая, углеродистая, холоднотянутая, диаметром от 2,5 до 8 *мм* (ГОСТ 1348—55);

2) проволока стальная холоднотянутая, высокопрочная, периодического профиля, диаметром от 2,5 до 8 *мм* (ГОСТ 8480—57);

3) проволока стальная, круглая, низкоуглеродистая, холоднотянутая, диаметром от 3 до 10 *мм* (ГОСТ 6727—53);

4) сталь горячекатаная, периодического профиля, низколегированная, диаметром от 10 до 32 *мм*, марки 30ХГ2С и диаметром от 6 до 40 *мм*, марки 25Г2С (ГОСТ 5058—57, сортамент по ГОСТ 7314—55, рис. 286);

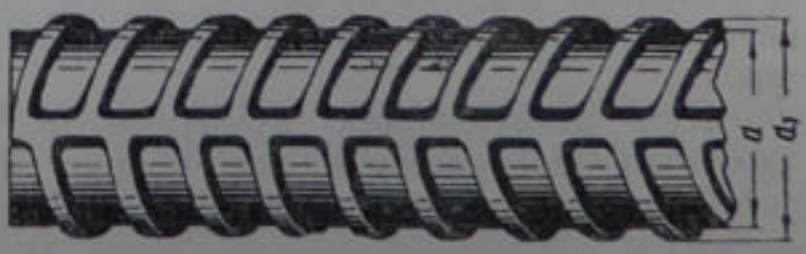


Рис. 286. Горячекатаная арматурная сталь периодического профиля.

5) сталь горячекатаная, периодического профиля, диаметром от 10 до 90 *мм*, марки Ст. 5 (ГОСТ 380—57, сортамент по ГОСТ 5781—53);

[1] А. А. Щербинин. Изготовление и монтаж сварных армоконструкций. Куйбышевское книжное издательство, 1953.

[2] Технические указания по изготовлению арматуры для железобетонных конструкций в мелиоративном строительстве. Гипроводхоз МСХ СССР, 1959.

6) сталь горячекатаная, периодического профиля, подвергнутая упрочнению вытяжкой с контролем напряжений и удлинений:

при марке 25Г2С—вытяжка до 5500 *кг/см²*, но при удлинении не более 3,5%;

при марке Ст. 5—вытяжка до 4500 *кг/см²*, но при удлинении не более 5,5%;

7) сталь горячекатаная, периодического профиля, подвергнутая упрочнению вытяжкой, с контролем удлинений, но без контроля напряжений:

при марке стали 25Г2С—вытяжка на 3,5%;

при марке стали Ст. 5—вытяжка на 5,5%;

8) сталь холоднодеформированная, периодического профиля, из гладкого проката марок Ст. 5, Ст. 3 и Ст. 0, диаметром от 6 до 32 *мм* (ГОСТ 6234—52);

9) сталь горячекатаная, круглого проката, марки Ст. 3 и Ст. 0, диаметром от 5 до 100 *мм* (ГОСТ 380—57, ГОСТ 535—52, ГОСТ 2590—51);

10) сталь горячекатаная, круглого проката, марки Ст. 3 и Ст. 0, подвергнутая силовой калибровке диаметром от 5 до 22 *мм*;

11) сталь сортовая марок Ст. 3 и Ст. 0—для подкладок, накладок, закладных деталей и пр. (ГОСТ 535—52).

Арматура диаметром до 12 *мм* называется легкой (катанка), а диаметром более 12 *мм*—тяжелой. Катанку доставляют в бухтах весом 80—200 *кг*, а тяжелую арматуру в виде прутьев длиной 4—9 *м*, реже 12 *м*. Так как для армирования требуются стержни длиной до 40 *м* и более, то отдельные прутки свариваются между собой.

Поверхность арматуры должна быть чистой без окалины и ржавчины, а форма сечения правильной.

Проверка качества арматуры на изгиб производится загибом образцов в холодном состоянии на 180° вокруг оправки диаметром, равным: для стали горячекатаной, круглой—двум диаметрам образца, а периодического профиля—трем диаметрам; в доброкачественной стали не должно быть разрывов, изломов и трещин. Сталь должна обладать необходимой прочностью на растяжение, что проверяется на разрывной машине; сравнивая полученные результаты механических испытаний с паспортными данными, устанавливают, соответствует ли сталь испытываемого образца этим данным.

§ 3. РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ АРМАТУРЫ

Технологическая схема арматурного завода по изготовлению стержней и армоконструкций рассчитывается на массовое изготовление арматуры непрерывным потоком и включает следующие рабочие процессы: 1) разгрузка и сортировка прибывающей арматуры; 2) правка; 3) складирование; 4) стыковая сварка; 5) резка; 6) гнутье; 7) складирование заготовок. Эти рабочие процессы соответствуют заготовке арматуры в виде отдельных стержней.

При изготовлении арматуры в виде армоконструкций отдельные заготовки поступают в цех сборки и сварки армоконструкций, которые затем направляются непосредственно в блок и реже на промежуточный склад.

Ввиду того что изготовление массивного сборного железобетона или втапливание арматуры наружных поверхностей в бетон производится при готовом армокаркасе, процесс изготовления сборного железобетона рационально сосредоточить на арматурном заводе и включить в его технологическую схему.

§ 4. РАЗГРУЗКА, СОРТИРОВКА И СКЛАДИРОВАНИЕ АРМАТУРЫ

Склад арматуры устраивают на прирельсовой горизонтальной площадке; отдельные склады строят для легкой и тяжелой арматуры. На одной из строек в качестве основания через 2 *м* укладывались бревна диаметром 18—20 *см*,

на которые и укладывалась арматура по маркам и штабелям,высотой не более 1,5 *м*; внутри штабеля арматура сортировалась по длине. Заводы-отправители должны отгружать арматурную сталь в пучках с прокладками, а не навалом; это дает возможность механизировать разгрузку.

Полезная площадь склада на Волгодонстрое была рассчитана на хранение месячного запаса арматурной стали.

§ 5. ПРАВКА И РЕЗКА АРМАТУРЫ

Для правки и резки круглой стали средних диаметров применяются автоматические правильно-отрезные станки конструкции Н. Е. Носенко.

На станке АН-14 конструкции Н. Е. Носенко (рис. 287) производится правка и резка арматуры диаметром 7—14 *мм* на стержни длиной 0,30—7 *м*. Станок состоит из правильного барабана с правильными роликами *5*, тянущих роликов *4* и режущего устройства *2* с ножами *3*. Круглая арматурная сталь захватывается направляющими роликами станка, проталкивается

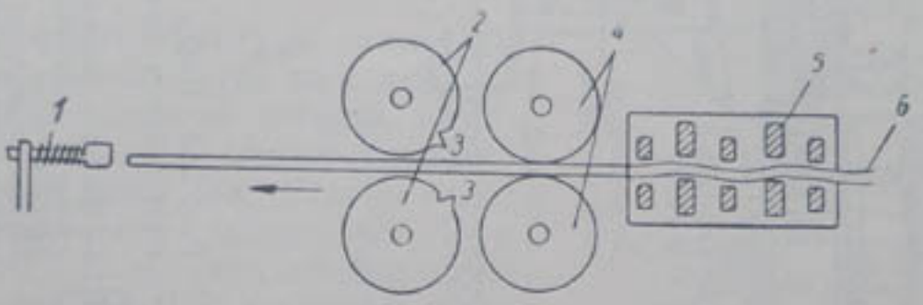


Рис. 287. Схема работы станка для правки и резки легкой арматуры:

1—упор; *2*—режущие приспособления; *3*—ножи; *4*—тянущие ролики; *5*—правильные ролики; *6*—арматурный стержень.

через правильный барабан цилиндрической формы и проходит при этом между правильными роликами *5*. Затем арматура режется вращающимся режущим устройством.

Длина отрезаемого прута регулируется подвижным упором *1*, соединенным с режущим устройством *2* с ножами *3*, перерезающими стержень *6* в момент его нажатия на упор. Скорость вращения ножей *3* увязывается со скоростью вращения роликов *4*, подающих арматуру. Во время правки поверхность стержней очищается до блеска от ржавчины и грязи.

Производительность станка от 2 до 11 *т/смену*, мощность электродвигателей 4,5 *квт*, вес 2 *т*. Для тех же целей имеются автоматические станки АН-8 (рис. 288) для резки стали малых диаметров от 1,2 до 8,5 *мм* и станки С-338—для диаметров 3—14 *мм*.

При отсутствии станков-автоматов для выпрямления и резания стали в бухтах могут быть применены самотаски. Одной из наиболее эффективных является самотаска Н. С. Замкова (рис. 289), она монтируется на площадке шириной 3—4 *м*, длиной 50—70 *м*.

На одном конце площадки устанавливается однобарабанная двухступенчатая лебедка *10*, имеющая две скорости; бо́льшая скорость используется для разматывания, меньшая для вытягивания проволоки. На другом конце площадки помещается упорный столб *2* с блоком и натяжным приспособлением. Блок и лебедка связаны между собой бесконечным тросом диаметром 10—12 *мм*, предназначенным для размотки. Концы разматываемой проволоки закрепляются в плашке, которая может быть присоединена накидным крюком *6* в любом месте. При вращении барабана лебедки крюк с плашкой подтягивается бесконечным тросом и катанка разматывается.

Арматура вытягивается лебедкой при помощи короткого натяжного троса длиной 4—5 *м*, диаметром 12 *мм*, прикрепленного одним концом к

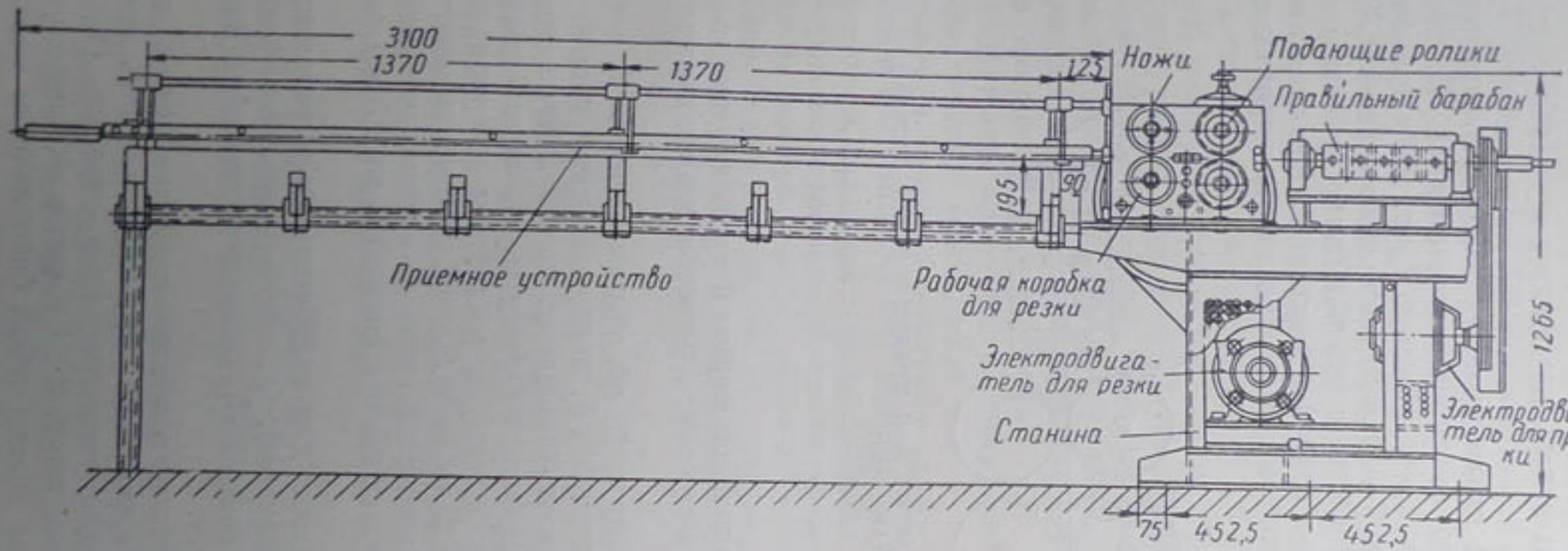


Рис. 288. Правильно-отрезной станок АН-8.

Рис. 289. Схема установки для размотки и выпрямления арматурной стали при помощи самотаски:

1—штабель мотков арматуры; *2*—упорный столб с блоком и натяжным приспособлением; *3*—бесконечный трос; *4*—вертушки с бухтами катанки; *5*—эксцентриковый зажим; *6*—накидной крюк; *7*—ручной пресс для резки; *8*—передвижной механический пресс системы Дронова для резки; *9*—узкоколейный путь; *10*—лебедка.

барабану лебедки, а другим к накидному крюку *6*. Зажим *5* предназначен для закрепления концов арматуры размотанных мотков. Резка арматуры диаметром до 20 *мм* при небольшом объеме работ производится на ручном прессе С-77 с неподвижным и подвижным ножами; при повороте рычага ножи сходятся и режут арматуру. Резка арматурной стали диаметром до 40 *мм* производится на станке С-150А, делающем 32 реза в минуту; мощность электродвигателей 5,8 *квт*. Резка производится двумя ножами.

Для арматуры больших диаметров на стройках широко применяется газовая резка ацетиленово-кислородными или керосиново-кислородными резаками К-51. Кроме того, для резки стержней диаметром 60 *мм* применялись пресс-ножницы НА-135 паспортной производительностью 20,6 *т/смену*.

Правка круглой арматуры диаметром от 12 до 40 *мм* производится на специальных правильных станках (модель 9416), пропусканием стержней между вращающимися валками (рис. 290). Станок имеет два электродвигателя мощностью 9 и 14 *квт*; вес его 5,15 *т*. Для правки арматуры диаметром до 100 *мм* могут быть применены семивалковые станы с двумя двигателями по 24 *квт*; скорость правки 0,48—1,25 *м/сек*.

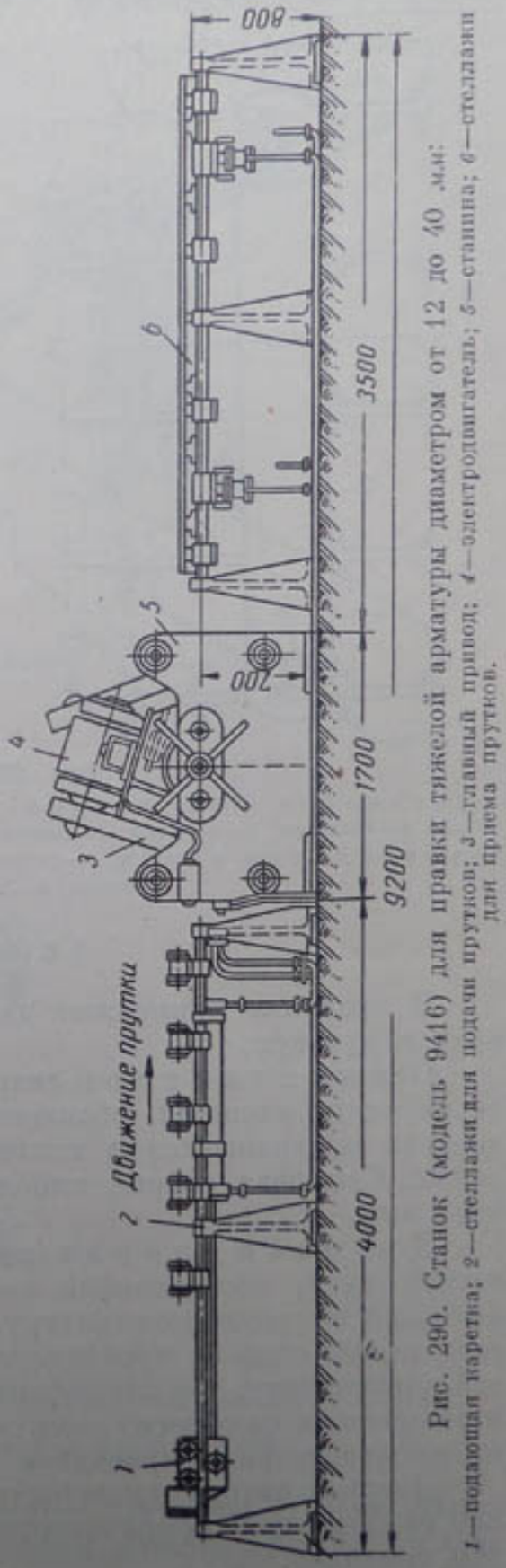


Рис. 290. Станок (модель 9416) для правки тяжелой арматуры диаметром от 12 до 40 *мм*:
1—подающая каретка; *2*—стеллажи или подачи прутков; *3*—главный привод; *4*—электродвигатель; *5*—станина; *6*—стеллажи для приема прутков.

При отсутствии станка для правки или при небольшом объеме работ стержни диаметром до 30 *мм* можно править вручную на верстаке, оборудованном правильными плитами системы Н. С. Замкова.

Погнутые прутья (рис. 291, *а*) перегружают с вагонеток на козелки *1*, установленные рядом с верстаком *2*. С козелков прутья перекатывают на верстак, высота которого меньше высоты козелков. Правку производят на двух правильных плитах *5*, расположенных на концах верстака и прочно к нему прикрепленных. По другую сторону верстака установлены низкие козелки *3*, на которые выпрямленная арматура скатывается по наклонным прутьям *4*.

На правильной плите *3* (рис. 291, *б*) укреплены четыре пальца *1*, между которыми закладывают выпрямляемую арматуру. Правку выполняют ключом *4*, на который для уменьшения затраты усилий надевают газовую трубу. При правке прутьев диаметром 10—19 *мм* на пальцы надевают закладную скобу *2*. Верстак обслуживают два арматурщика и один подручный, подающий прутья с обоих концов верстака.

Арматуру диаметром более 32 *мм* правят в нагретом состоянии.

Правка арматуры производится вслед за ее разгрузкой перед укладкой в штабеля; резка арматуры следует после ее сварки и разметки.

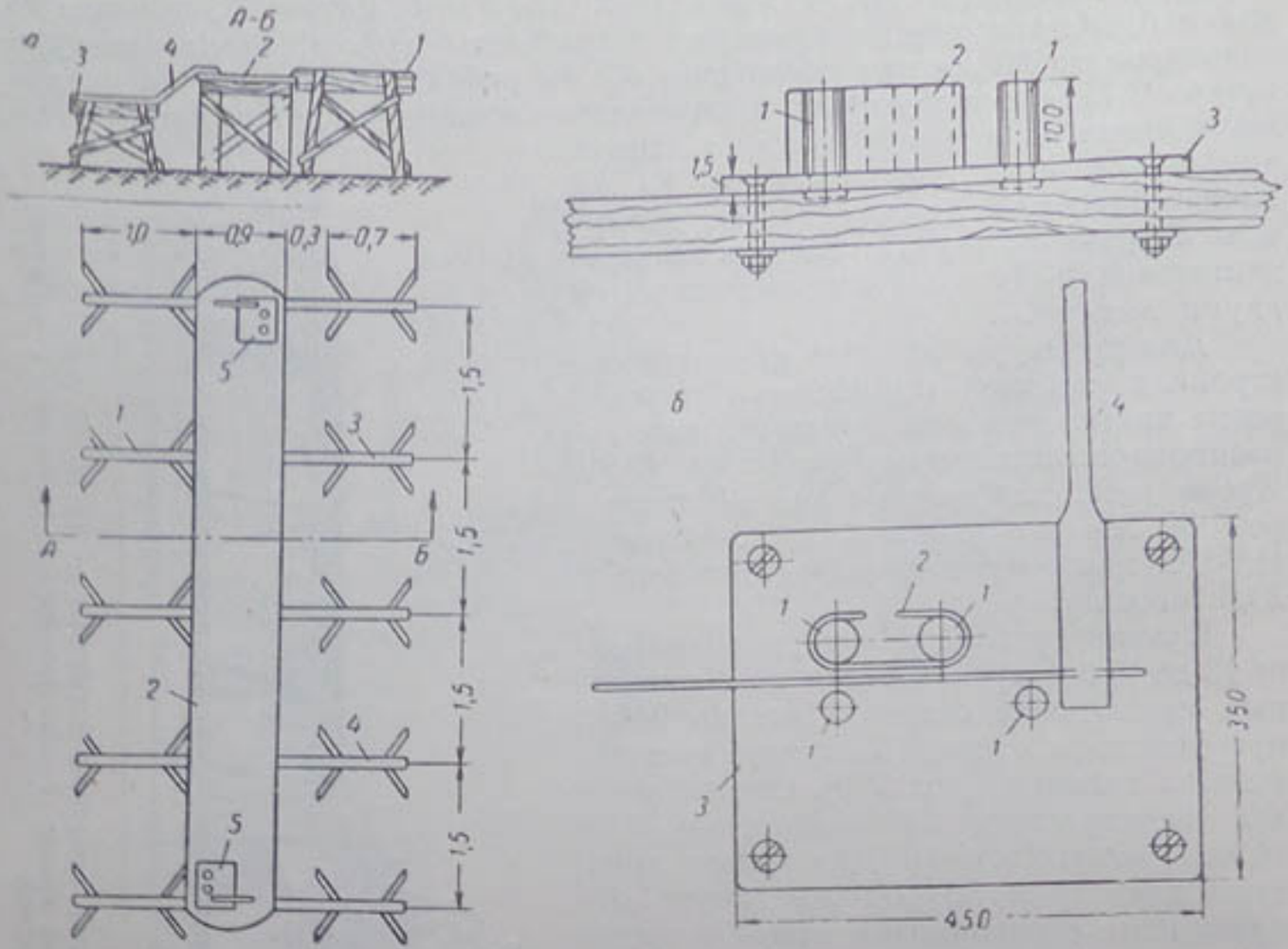


Рис. 291. Правка арматуры:
а—установка для правки прутковой арматуры диаметром до 30 *мм*: *1*—козелки; *2*—верстак; *3*—низкие козелки; *4*—наклонные прутья; *5*—правильные плиты. *б*—правильная плита: *1*—пальцы для закладки между ними арматуры; *2*—закладная скоба; *3*—правильная плита; *4*—ключ.

§ 6. СВАРКА АРМАТУРЫ

В практике применяют два вида электросварки: контактную (стыковую) и дуговую.

При контактной сварке (рис. 292, *а*) ток пропускается через оба свариваемые стержня, сближенные между собой; при этом электрическая энергия превращается в тепловую. Сварка происходит без присадки металла. Стыковая сварка выполняется на армозаводах стационарными аппаратами.

Дуговая сварка (рис. 292, *в*) производится при помощи электрической дуги, образованной между двумя полосами электрической цепи, имеющей высокую температуру. Дуговая сварка производится при помощи электродов; один из проводов присоединяется к свариваемой детали, а другой к электроду. Расплавленный стержень электрода и частично свариваемого металла соединяют стыкуемые стержни. Таким образом дуговая сварка производится с присадкой металла.

Дуговая сварка производится переносными аппаратами и применяется при сборке в цехе армоконструкций, а также в блоках. Она более трудоемка, чем стыковая.

Контактная (стыковая) электросварка может выполняться методом сопротивления или оплавлением. При сварке сопротивлением оба стыкуемых стержня при помощи специального зажимного устройства с большой силой прижимаются друг к другу и при пропуске электрического тока свариваются. Для этого необходима тщательная подготовка и обработка торцов стыкуемых стержней. В противном случае при неполном соприкосновении и неравномерном прогреве могут остаться непроваренные

участки и части окислившегося металла, что ухудшает качество стыка. Сварка сопротивлением применяется редко.

При сварке оплавлением ток включается раньше соприкосновения свариваемых стержней; затем находящиеся под напряжением концы медленно сближаются и в момент их соприкосновения ток замыкается. Начавшееся после быстрого разогрева металла оплавление продол-

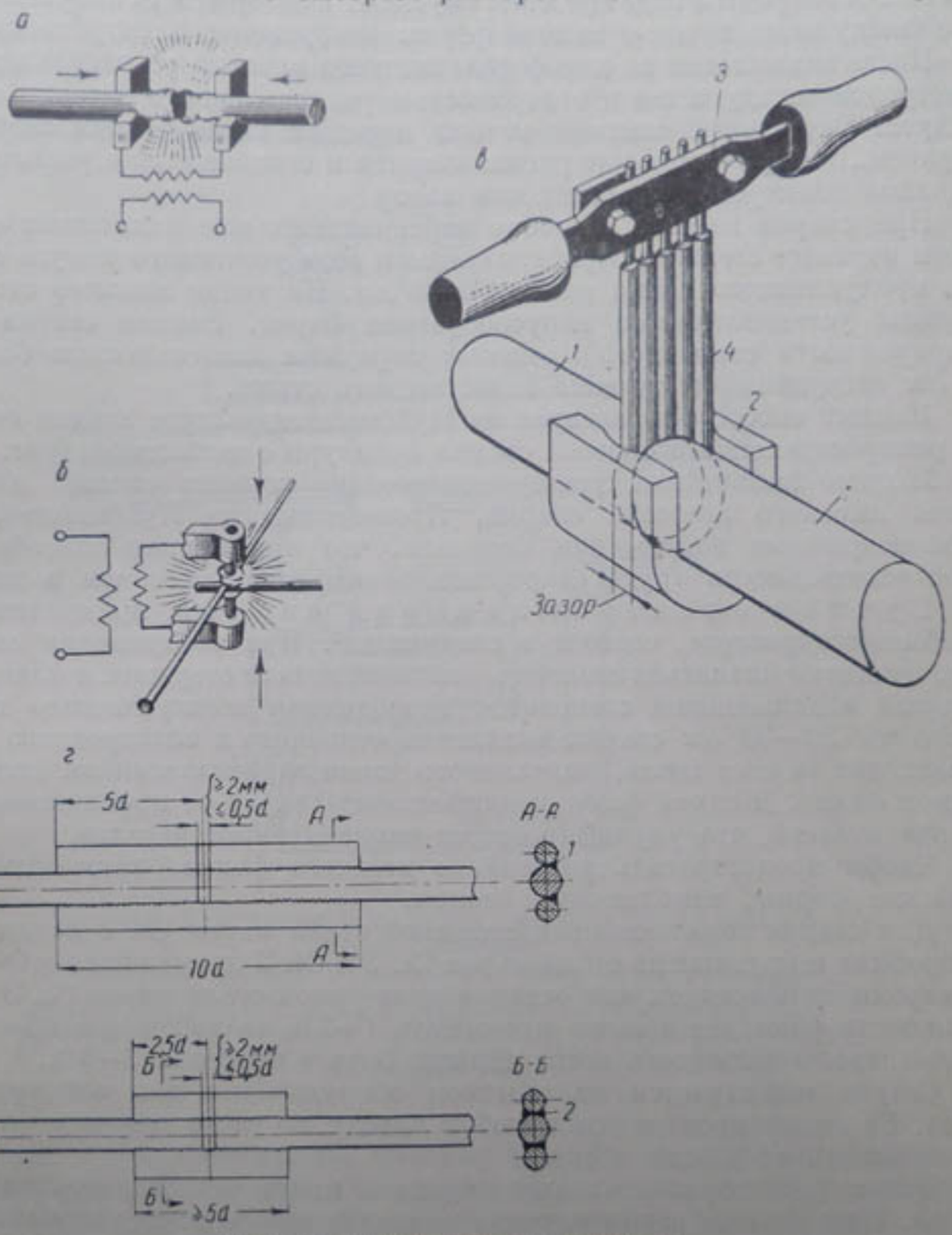


Рис. 292. Электросварка арматуры:

а—контактная стыковая электросварка; *б*—точечная электросварка; *в*—дуговая ванная сварка: *1*—свариваемые стержни; *2*—медная форма; *3*—электрододержатель; *4*—электроды. *г*—сварка круглых гладких стержней с накладками: *1*—с двумя швами; *2*—с четырьмя швами.

жается и усиливается при постепенном сближении стержней. Процесс сварки заканчивается сильным обжатием оплавившихся концов. Сварка оплавлением не требует такой тщательной обработки и зачистки концов стержней, как сварка сопротивлением, но необходимо перед сваркой зачистить концы от заусениц, окалины и грязи.

При точечной сварке (рис. 292, *б*) в одной или нескольких точках одновременно свариваются наложенные друг на друга стержни; точечная сварка применяется для соединения стержней при изготовлении сеток и каркасов.

Дуговая ванная сварка (рис. 292, *в*) является прогрессивной разновидностью обычной дуговой сварки. При ванном способе горизонтальные стыкуемые стержни *1* укладывают в медную форму *2* с зазором от 9 до 12 *мм*—для стержней диаметром 25—32 *мм*, и от 16 до 28 *мм*—для стержней диаметром 80 *мм*. Медные формы изготовляют из меди марки М1 или М2. Электроды в виде гребенки опускают в зазор между стержнями, после чего между ними и дном медной формы возбуждают электрическую дугу.

После накопления на дне формы жидкого металла от расплавляющихся электродов между ними и поверхностью расплавленного металла образуется дуга. Перегретый жидкий металл передает тепло концам свариваемых стержней, которые частично расплавляются и соединяются с расплавленным металлом электрода, заполняющим зазор.

При сварке ванным способом вертикальных или наклонных стержней конец верхнего стержня обрабатывается в виде усеченного конуса с диаметром притупленного конца равным 4—6 *мм*. На конце нижнего стыкуемого стержня устанавливается конусообразная форма. Ванная сварка требует непрерывности сварочного процесса; перерывы длительностью более 20—40 *сек* затрудняют получение качественного стыка.

Ванный способ был внедрен на Куйбышевгидрострое взамен повсеместно распространенного способа сварки арматуры с накладками (рис. 292, *г*). Необходимо дальнейшее усовершенствование ванного способа для получения высокого качества сварки. Проведенные на Куйбышевгидрострое хронометражные наблюдения показали, что при ванном способе сварки производительность труда сварщиков повышается более чем в два раза[1].

Ручная электрошлаковая сварка, применявшаяся на Куйбышевгидрострое, состоит в следующем[2]. При возбуждении сварочной дуги начинают плавиться электрод, основной металл стержней и флюс (шлак), который в дальнейшем становится проводником электрического тока. По истечении 20—30 *сек* сварки плавление основного и электродного металла происходит за счет тепла, выделяемого током в расплавленном электропроводном флюсе. Жидкий флюс защищает зону сварки от проникновения кислорода и азота, что улучшает состав наплавляемого металла.

Чтобы предотвратить растекание жидкого флюса, применяют металлические формы, заполняемые песком.

Для сварки горячекатаных стержней стали марки Ст. 5 периодического профиля и круглых из стали марок Ст. 3 и Ст. 5 применяют необмазанные электроды из пластинок или отходов арматурной стали марок Ст. 3 и Ст. 5. Влажность флюса не должна превышать 1—2% во избежание образования пор во шве, а влажность песка должна быть в пределах 3—5%.

Сварка выполняется на обычном оборудовании для электродуговых работ. Ее можно производить в любую погоду, но место сварки и флюс нужно защищать от дождя и снега.

Для сварки горизонтальных стержней встык разделка торцов не требуется. Наименьшая рекомендуемая величина зазора между торцами стержней, свариваемых пластинчатым электродом, изменяется от 9 до 14 *мм*, в зависимости от диаметров стержней. В зазор между стыками, до соприкосновения с песком, вводится необмазанный электрод; нужно избегать при этом соединения электрода с торцами свариваемых стержней. Все свободное пространство между торцами и электродами заполняется флюсом на 20—30 *см* выше осей стержней. При плавлении электрода пластины его постепенно опускают вниз с тем, чтобы нижний торец находился в расплавленном флюсе на расстоянии 5—8 *мм*. Через 15—20 минут после окончания сварки снимается металлическая форма, а остывший шлак отбивается легкими ударами молотка.

---

[1] В. Я. Дулькин. Ванный способ сварки. Производственный бюллетень Куйбышевгидростроя № 1, 1955.

[2] С. И. Китаев. Изготовление и монтаж арматуры железобетонных сооружений. Оргэнергострой, Куйбышев, 1956.

К преимуществам ручной электрошлаковой сварки под флюсом в медных или песочных формах следует отнести: а) возможность применения пластинчатых электродов или отходов в виде прутков длиной 40—50 *см* без обмазки; б) быстроту сварки; в) простоту сварки, не требующей высокой квалификации; г) выполнение работ без щитка и возможность визуального наблюдения.

Академик Е. О. Патон разработал автоматическую сварку под флюсом.

Машины для сварки. Принципиальная схема машины для стыковой контактной сварки изображена на рисунке 293. Концы свариваемых прутьев *1* прижимаются приспособлением *12* к контактным губкам *2*, наглухо

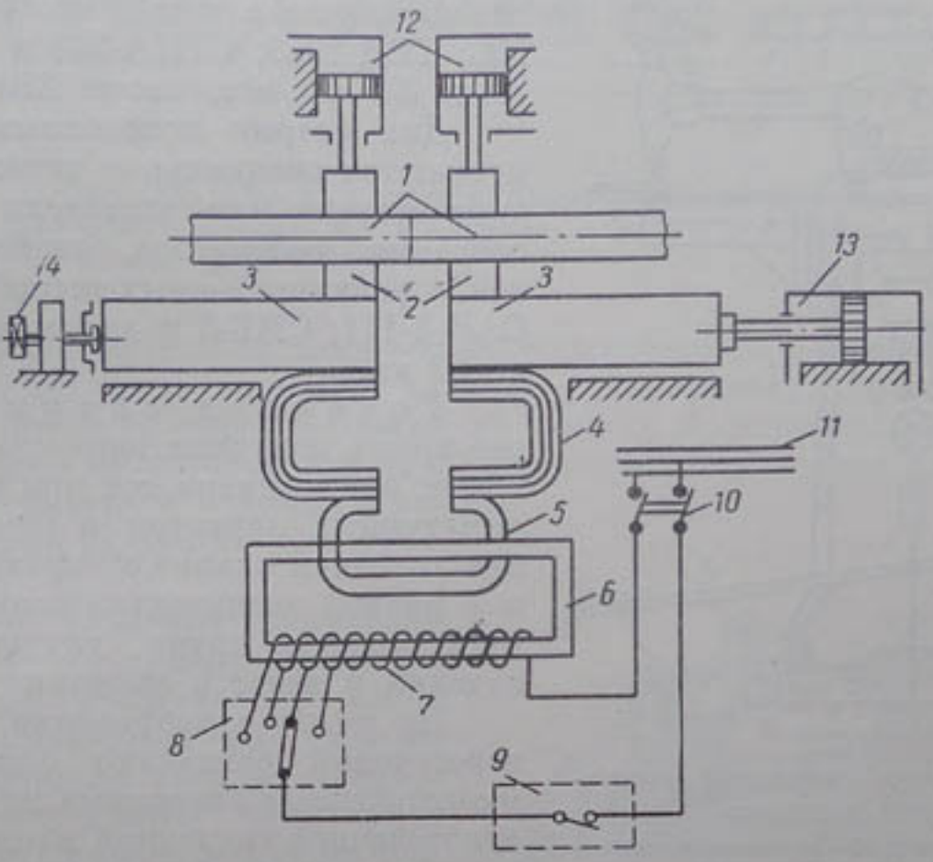


Рис. 293. Принципиальная схема машины для стыковой сварки арматуры:

1—свариваемые стержни; *2*—контактные губки; *3*—токоподводящие плиты; *4*—гибкие шины; *5*—вторичная обмотка сварочного трансформатора; *6*—сердечник; *7*—первичная обмотка; *8*—регулятор тока; *9*—прерыватель тока; *10*—сетевой рубильник; *11*—электрическая сеть; *12*—зажимное устройство; *13*—подающее осадочное устройство; *14*—упорный винт.

соединенным с токоподводящими плитами *3*. Одна из плит неподвижна и удерживается упором с регулирующим винтом *14*, а вторая плита соединена с подающе-осадочным устройством *13*, которое может передвигаться в горизонтальном направлении. Сварочный ток подается к плитам *3* от вторичной обмотки сварочного трансформатора *5* через гибкие шины *4*. Для стыковой электросварки промышленность выпускает машины с ручным рычажным перемещением контактных губок (АСИФ-25, АСИФ-50, АСИФ-75, МСР-100-3) и автоматические с моторным (МСМ-150) и гидравлическим приводом (МСГА-300 и МСГА-500).

Машины АСИФ разных марок сваривают стержни диаметром от 16 до 38 *мм* и весят от 0,3 до 0,41 *т*, машины МСР-100 весом 1,36 *т* сваривают стержни диаметром 36—55 *мм*, автоматические машины МСМ-150 весом в 2 *т* сваривают стержни диаметром 32—55 *мм*. Стержни диаметром 50—70 *мм* и 55—90 *мм* свариваются машинами с гидравлическим приводом МСГА-300 и МСГА-500 весом (без шкафа управления) 7,5 и 8 *т*.

На арматурных заводах Волгодонстроя были установлены контактные сварочные машины АСИФ-75 для сварки стержней до 28 *мм*, СКМ-100—

до 60 *мм*, МСМ-150—до 70 *мм* (они были модернизированы на строительстве), РСКМ-200 МА и «Федераль-250»—до 80 *мм*.

Практика Волгодонстроя показала, что расход электроэнергии на сварку с зачищенными концами почти вдвое меньше, чем с незачищенными. Поэтому в арматурных цехах следует обязательно предусматривать зачистку контактных поверхностей.

Сварочный агрегат для дуговой сварки при использовании переменного тока состоит из трансформатора и дросселя, регулирующего напряжение и силу тока в сварочном агрегате. Выпускаются трансформаторы с отдельным регулятором (СТЭ-32; СТЭ; ТС-1000) мощностью в 29, 30 и 65 *ква*, весом 185, 200 и 300 *кг* и трансформаторы с регулятором, объединенные в одной конструкции (СТН-500; ТСД-1900; СТНА-500 и др.) мощностью 30—69 *ква*, весом 270—600 *кг*.

Рис. 294. Схема сварочной одноточечной машины:

1—трансформатор; *2*—первичная обмотка трансформатора; *3*—вторичная обмотка трансформатора; *4*—регулятор переключения обмотки; *5*—нижний (неподвижный) электрод; *6*—верхний (подвижной) электрод; *7*—педаль; *8*—контактор для включения тока; *9*—пружина.

Для сварки постоянным током выпускаются специальные агрегаты из электродвигателя или двигателя внутреннего сгорания, генератора, вырабатывающего ток, и регулировочных устройств (СУГ-2а; САК-2-111; СМГ-3 и др.) мощностью от 6 до 90 *квт*.

Точечная сварка в последнее время получила широкое распространение; она применяется при изготовлении арматурных каркасов и сеток. Применение точечной сварки по сравнению с ручной вязкой значительно повышает производительность труда, улучшает качество изделий и ведет к экономии металла.

По числу одновременно свариваемых пересечений различают одноточечные и многоточечные сварочные машины. Схема одноточечной сварочной машины показана на рисунке 294. Ток к верхнему *6* и нижнему *5* электродам, между которыми помещаются свариваемые арматурные стержни, подается от трансформатора *1*; первичную его обмотку *2* можно посекционно включать регулятором *4* в зависимости от необходимого напряжения. Ток от вторичной обмотки *3* подведен к электродам. Свариваемые детали зажимаются педалью *7* с одновременным включением тока через контактор *8* сварочной машины.

Кроме машины с ножной педалью, изготовляются стационарные машины с моторным приводом, с пневматическим управлением и передвижные машины с пневмогидравлическим управлением. Наибольший диаметр меньшего из свариваемых стержней от 12 до 20 *мм*—при неавтоматической сварке и от 8 до 60 *мм*—при автоматической.

Основным недостатком одноточечных машин является небольшой вылет электрододержателей; поэтому на производстве в настоящее время частично применяются многоточечные машины для сварки сеток большой ширины в нескольких точках. Так, полуавтоматическая многоточечная машина ВНИОМС (конструкции Г. Ф. Долженко и С. С. Леви) может сваривать сетки шириной до 4,5 *м* любой длины из стержней диаметром до 20 *мм*. Расстояние между продольными стержнями арматуры может меняться в пределах от 50 до 300 *мм*, а между поперечными—в любых пределах, больше 75 *мм*.

Для точечной сварки применяются электроды из меди, специальных медных сплавов или бронзы.

Сваренные стержни подаются вагонеткой или по роликам к прессу для резки и к станку для гнутья арматуры. Организация рабочего места показана на рисунке 295. Сваренная прутковая сталь подается рольгангом или вагонеткой *10*, разгружается на козелки *2*, а с них, по мере надобности,

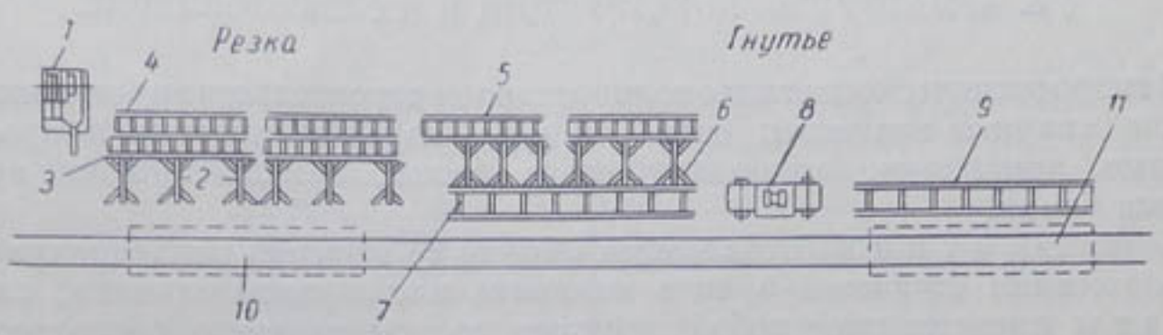


Рис. 295. Резка и гнутье арматурных стержней:
1—пресс для резки арматуры; *2* и *6*—козелки; *3*, *4*, *5*, *7* и *9*—ролики; *8*—станок для гнутья; *10* и *11*—вагонетки.

перекладывается на ролики *3*, на которых укрепляется мерная рейка. Наличие ее позволяет резать арматуру прессом *1* без предварительной разметки. Нарезанные стержни перекладывают на ролики *4*, перемещают по ним на ролики *5*, затем на козелки *6* и далее на ролики *7* к станку для гнутья *8*. Выгнутую арматуру с роликов *9* перекладывают на вагонетку *11* и отвозят в склад.

Тяжелую арматуру диаметром до 40 *мм* гнут на приводном станке С-146. Станок представляет собой стол, смонтированный на жесткой раме и перекрытый сверху металлической рабочей плитой. Стол обшит железом; внутри стола помещен двигатель и передаточный механизм, приводящий во вращение вертикальный вал, на который насажен рабочий диск *1* (рис. 296). В центре диска установлен осевой палец *2*, вокруг которого изгибается арматура. В диске имеется еще несколько отверстий для загибающего пальца *3*; к столу прикреплен вертикальный ролик *4*, служащий упором при изгибе арматуры *5*. На концах стола находятся два горизонтальных ролика для облегчения передвижки арматуры. По окончании изгиба одного конца прута он передвигается на следующий за аппаратом для гнутья ролик, после чего загибается другой конец. Между прутом и загибающим пальцем не должно оставаться почти никакого зазора; поэтому при гнутье тонкой арматуры должны вставляться более толстые загибающие пальцы, чем при гнутье легкой.

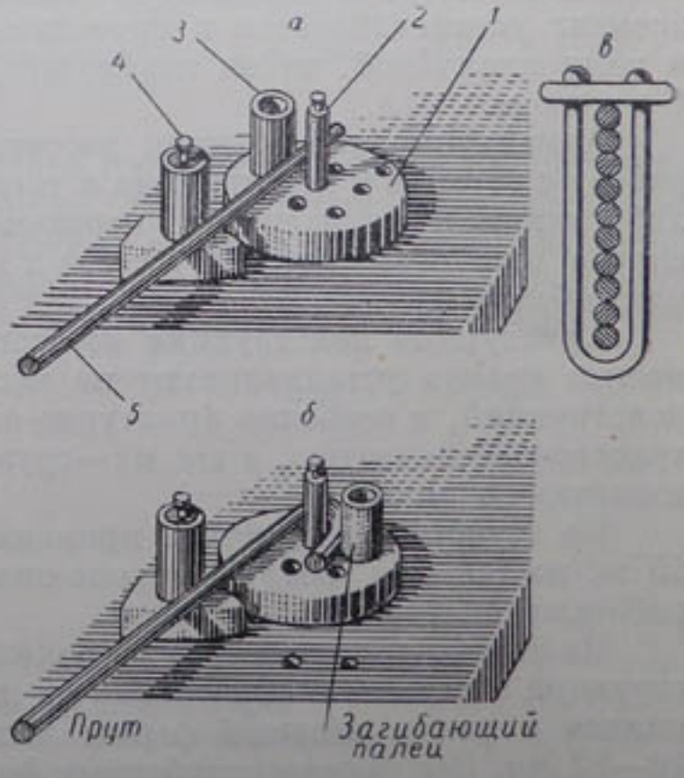


Рис. 296. Приводной станок для гнутья арматуры диаметром от 40 *мм*:
а—установка арматуры до ее загиба: *1*—вращающийся рабочий диск; *2*—осевой палец; *3*—загибающий палец; *4*—вертикальный упорный ролик; *5*—арматурный прут. *б*—арматура после загиба. *в*—держатели для одновременного гнутья нескольких прутьев.

Высота пальцев такова, что в станок можно заложить одновременно несколько прутьев, что и используется при гнутье арматуры диаметром меньше 40 *мм*. Арматура удерживается во время гнутья держателями (рис. 296. *в*).

При малых объемах работ арматуру диаметром 25 *мм* и меньше можно изгибать на ручном станке, который работает по принципу приводного станка.

Тяжелую арматуру диаметром 90 *мм* гнут на станках С-266, имеющих два гибочных диска для стержней: один до 40 *мм*, другой до 90 *мм*; одновременно может работать один из дисков.

§ 8. АРМАТУРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЕ

В гидротехническом и гидромелиоративном строительстве применяют следующие сварные элементы: сетки, пакеты, каркасы плоские и пространственные, армоблоки, армоопалубочные блоки, армоплитоблоки, армопанельные блоки.

Сварные сетки изготовляются обычно со взаимно перпендикулярным расположением стержней в виде квадрата или прямоугольника; сварные пакеты представляют собой длинные полосы из густо расположенных стержней большого диаметра, соединенных редко расположенными монтажными стержнями малых диаметров. Сварные плоские пакеты состоят из продольной арматуры в виде поясов и соединительной решетки из отдельных каркасов, либо в виде непрерывной змейки. Сварные пространственные каркасы собирают из плоских каркасов, соединяемых специальными связями, либо приготовляемых в виде пространственных элементов.

Под арматурным блоком понимается система каркасов, сеток или пакетов, соединенных в один монтажный элемент. Если арматурный элемент устанавливается в проектное положение вместе с прикрепленной к нему опалубкой, то он называется арматурно-опалубочным блоком.

Арматурные конструкции рассчитываются либо только на совместную работу с бетоном в конструкции и тогда они называются ненесущими, либо также и на нагрузку, передающуюся через опалубку; в последнем случае они называются несущими. Опалубку часто устраивают из плит-оболочек.

Арматурные конструкции изготовляют на арматурном заводе и с помощью кранов устанавливают на месте монтажа кранами; габариты этих конструкций, а особенно арматурно-опалубочных блоков, определяются их транспортабельностью, а вес их—грузоподъемностью кранов на месте изготовления и монтажа.

На Куйбышевгидрострое применялись краны грузоподъемностью 10—15 *т*, но так как вес арматурно-опалубочных блоков достигал 20 *т*, то работали спаренными кранами.

На Куйбышевгидрострое широко применялся монтаж арматурных конструкций с заранее повешенными на них плитами-оболочками, которые крепились к узлам несущей фермы дополнительными выпусками диаметром 10—12 *мм*. Вес таких опалубочных ферм достигал 8,4 *т*. Строители Куйбышевгидростроя применили также сборные железобетонные плиты-оболочки с рабочей арматурой (армоплитоблоки). Плиты-оболочки изготовлялись на заводе, но имели повышенную толщину, равную 15—20 *см*; внутри их расположена рабочая арматура бетонируемого блока. Последняя имеет выпуски, свариваемые уже в процессе установки армоплитоблока с рабочей арматурой блока[1].

Армофермы различных типов изготовляются в цехе армоконструкций арматурных заводов; заготовленная в других цехах арматура подается на промежуточные склады заготовок и собирается в армоконструкции на пло-

---

[1] В. П. Карякин. Применение сборных железобетонных плитоблоков с рабочей арматурой. Производственный бюллетень Куйбышевгидростроя № 7, 1957; В. В. Орлов, С. Л. Лупова. Из опыта арматурных и опалубочных работ Куйбышевгидростроя. Там же.

щадках. Для выполнения грузоподъемных операций на сборочной площадке устанавливаются краны.

На Волгодонстрое сборка и сварка арматурных конструкций производились на выровненной, спланированной площадке, покрытой слоем гравия. Вдоль площадки укладывались лежни из пластин и на них закреплялись строго по уровню двутавровые балки или рельсы на расстоянии около 1,5 м друг от друга.

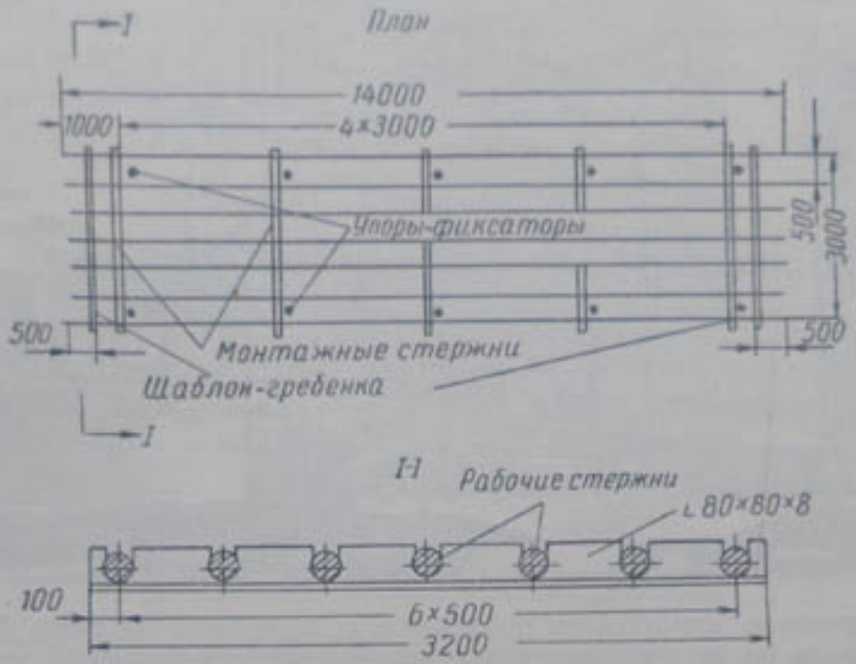


Рис. 297. Устройство упоров-фиксаторов и шаблонов-гребенок на стеллажах.

Сборка и сварка первого экземпляра плоских арматурных конструкций выполнялась на стеллажах по разметке. Для изготовления последующих однотипных конструкций к стеллажам приваривали упоры-фиксаторы и шаблоны-гребенки (рис. 297), которые определяли проектное положение как рабочих, так и монтажных элементов армоконструкций. Упоры-фикса-

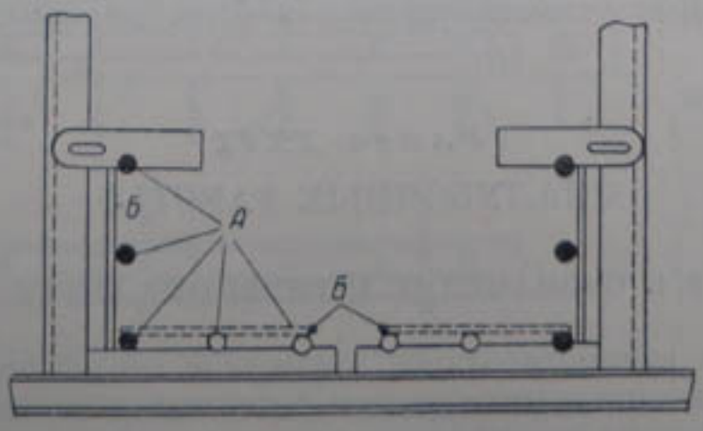


Рис. 298. Кондуктор для сборки и сварки поясов пространственных армоконструкций.

торы устанавливали в местах расположения монтажных стержней или отгибов. Затем сваренную конструкцию вынимали и по закрепленным на стеллажах упорам-фиксаторам и шаблонам-гребенкам собирали все последующие однотипные конструкции.

Сборка пространственных конструкций на Волгодонстрое состояла из следующих операций. В гнезда шаблонов-гребенок, укрепленных на стеллажах (рис. 298), укладывались элементы *А* горизонтальных поясов пространственной арматурной конструкции, а к рабочим элементам поясов приваривались соединительные планки *Б*. Изготовленные пояса крепились крючками к стойкам стеллажей и по ним после разметки раскладывались

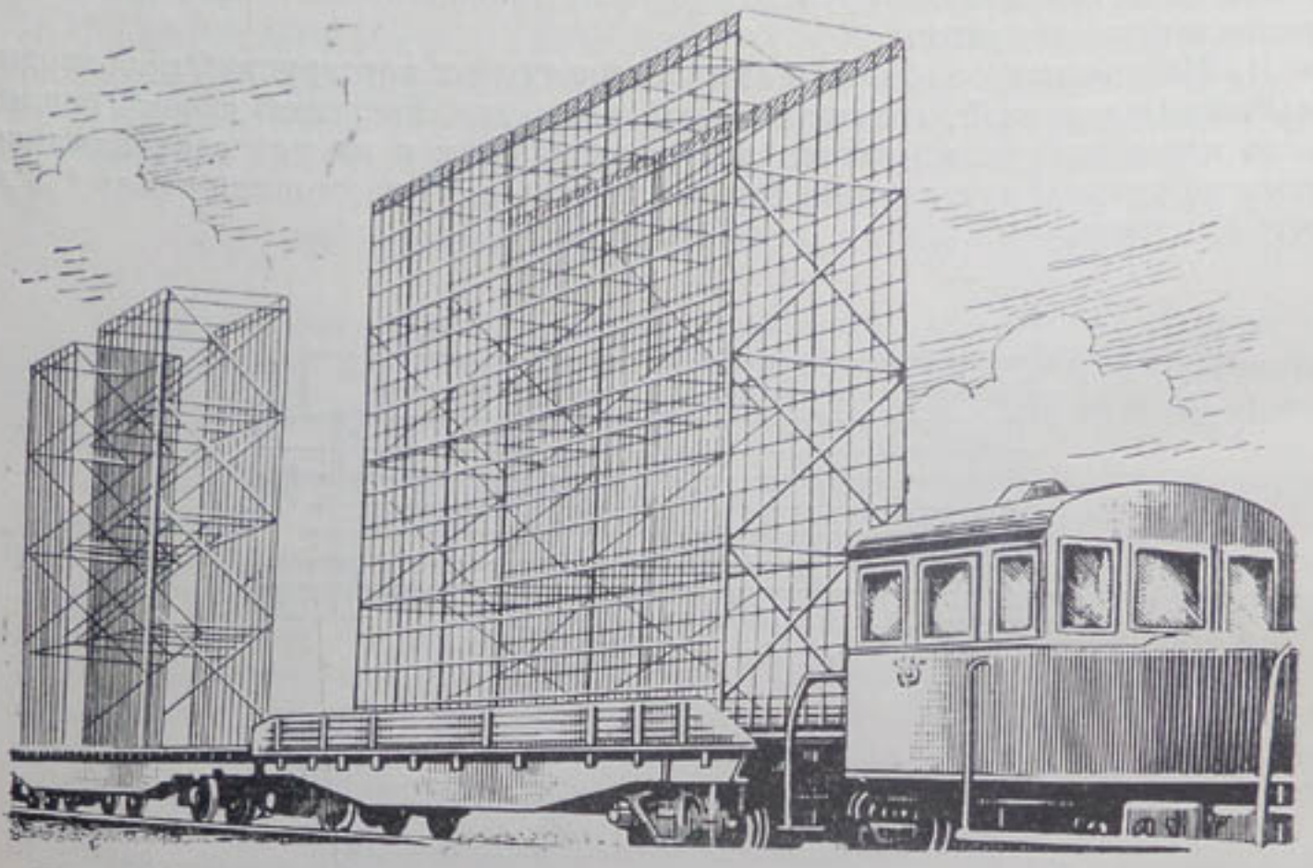


Рис. 299. Перевозка армоблоков полубачка водосливной плотины Цимлянского гидроузла на железнодорожных платформах с мотовозной тягой.

рабочие и монтажные элементы решетки, прихватывавшиеся к поясам дуговой сваркой. После проверки элементов конструкции приваривались все сопрягающиеся части и готовая арматура подавалась краном на склад готовой продукции.

В зависимости от габаритов, армоконструкции транспортируются либо на железнодорожных платформах (рис. 299), либо на автомобилях с прицепами.

Армоконструкции устанавливаются в блок кранами.

Глава XXII

ОПАЛУБОЧНЫЕ РАБОТЫ[1]

§ 1. НАЗНАЧЕНИЕ И ТИПЫ ОПАЛУБКИ

Опалубка—это вспомогательное временное сооружение, предназначенное для придания выполняемым частям бетонных и железобетонных сооружений проектной формы и сохранения ее до приобретения бетоном необходимой прочности. Опалубка поддерживается лесами, стойками, подкосами, тяжами, а иногда заделывается в бетон нижележащих блоков.

Стоимость опалубочных работ составляет от 15 до 35% стоимости бетонной кладки. Большое влияние на величину стоимости оказывает оборачиваемость опалубки, зависящая от ее типа, конструкции и степени трудности разборки. К опалубке предъявляют ряд технических требований; она должна[1]: 1) выполняться по рабочим чертежам проекта, обоснованного расчетами; 2) быть прочной, жесткой и неизменяемой; 3) обеспечивать проектные очертания блоков и точность установки; 4) быть плотной, не иметь щелей, через которые вытекает раствор; 5) быть гладкой со стороны примыкания

[1] В. В. Ермолов, Г. Д. Петров. Опалубка массивных сооружений ГЭС. Госэнергоиздат, 1954.

к бетону; в противном случае при распалубке волокна древесины отдираются, что уменьшает оборачиваемость опалубки и портит распалубливаемую поверхность бетона; б) иметь простую конструкцию, легко собираемую и разбираемую, что увеличивает оборачиваемость опалубки.

Опалубка изготовляется из дерева (обычно хвойного, пиломатериалов), железобетона (плит-оболочек), металла (листа или сетки), фанеры. Наибольшее распространение получила деревянная опалубка; в последние годы на гидростройках начали широко применять железобетонные плиты-оболочки. Имеются также специальные типы опалубок: а) из вакуум-щитов и б) абсорбирующая (поглощающая).

Опалубка бывает разборно-щитовой, стационарной и подвижной (ползучей, катучей).

§ 2. РАЗБОРНО-ЩИТОВАЯ И СТАЦИОНАРНАЯ ОПАЛУБКА

Разборно-щитовая опалубка получила наибольшее распространение; по данным В. В. Ермолова и Г. Д. Петрова, на пяти гидроузлах разборно-щитовая опалубка охватывала 60—70% опалубливаемых поверхностей; эти же цифры подтверждаются и практикой строительства Волго-Донского канала.

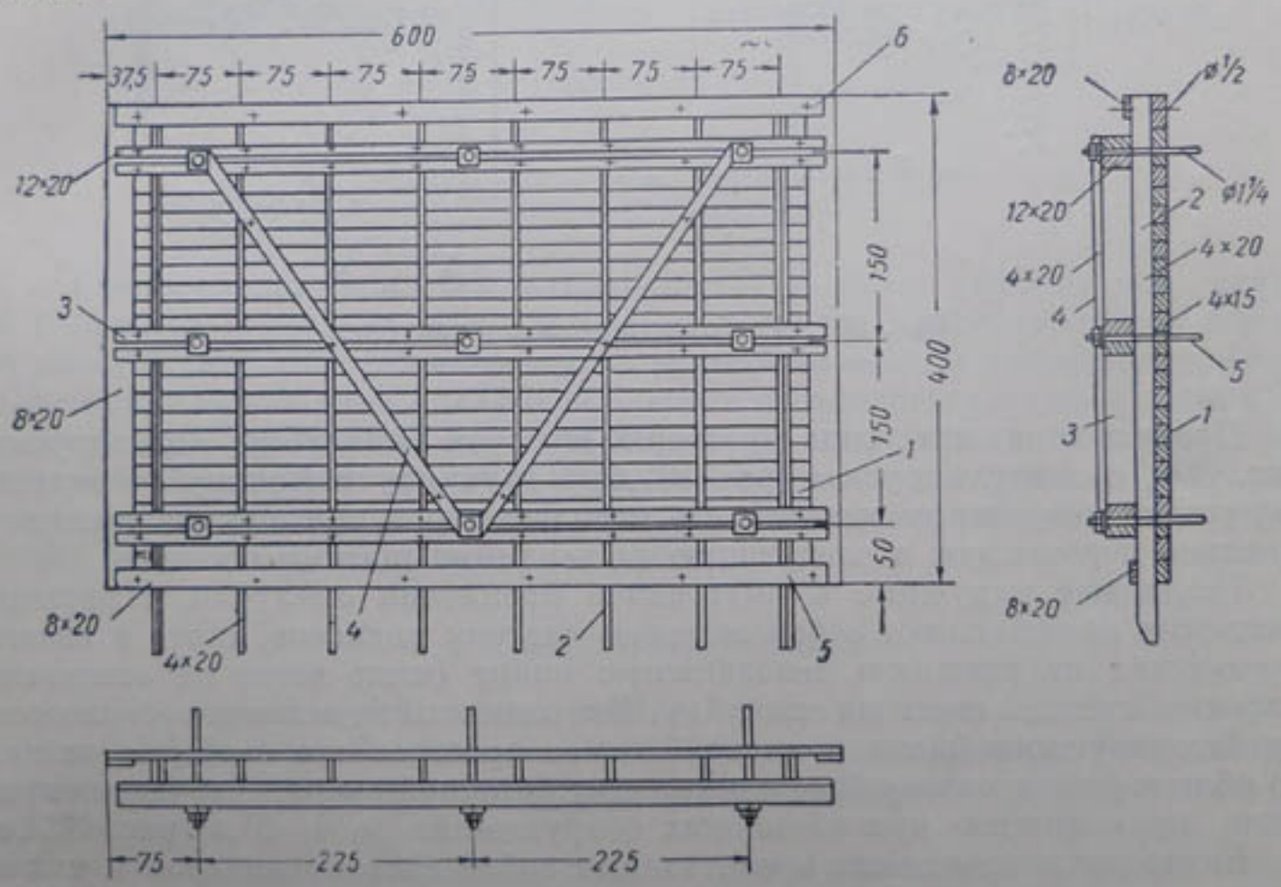


Рис. 300. Щит разборно-щитовой опалубки:
1—палуба; *2*—ребра; *3*—схватки; *4*—расносы; *5*—стяжки; *6*—толстые доски.

Щиты имеют значительный вес (0,5—2 *т*), поэтому их устанавливают и разбирают механизированным способом. Опалубка выполняется из отдельных щитов, прочно сшитых из обрезных досок толщиной 40—50 *мм*, могущих без повреждений выносить удары и сотрясения при распалубке и транспортировке. Элементы опалубки, подвергающиеся наиболее частой перестановке, изготовляют в виде инвентарных частей, допускающих быструю установку и разборку. Поверхность щитов опалубки, соприкасающуюся с бетоном, рекомендуется простругать и проолифить. Такая опалубка допускает 4—5-кратную оборачиваемость.

Для опалубки массивных сооружений (плотин, шлюзов, подпорных стенок и пр.) можно применять, например, щиты, конструкция которых показана на рисунке 300. Щиты состоят из палубы *1*, ребер *2*, поддержи-

вающих опалубку, схваток *3*, раскосов *4* и стяжек *5*. Ширина досок для большей плотности палубы принимается 10—12 *см*, доски соединяются вчетверть. Для защиты от поломок концы досок палубы прикрывают сверху и снизу щита толстыми досками *6*. Ребра щитов предпочтительно делать из брусков, чтобы можно было пропустить сквозь них болты и плотно затянуть гайки для увеличения прочности и жесткости щитов. Схватки делают из брусков сечением не менее 15×15 *см*; к ним прикрепляется трос. Для раскосов применяют доски толщиной 8—10 *см*, положенные плашмя. Доски палубы пришивают к каждому ребру двумя 10-сантиметровыми гвоздями, а схватку и раскосы крепят к палубе болтами диаметром 12,5 *мм*.

Разборно-щитовая опалубка должна состоять из набора щитов различных типоразмеров, которые в определенных комбинациях могут принимать форму блоков, образующих сооружение.

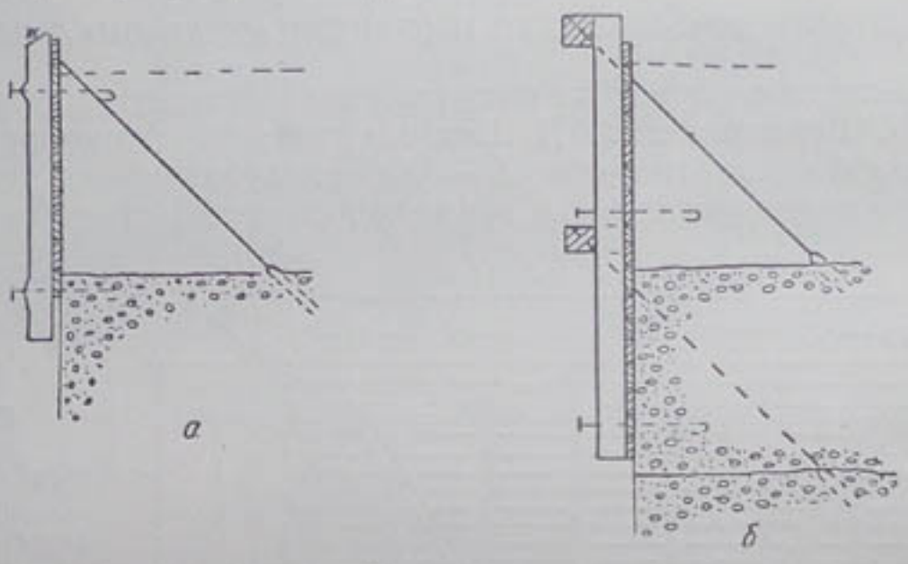


Рис. 301. Разборно-щитовая опалубка:
а—одноярусная; *б*—двухъярусная.

Применяются два типа разборно-щитовой опалубки: одноярусная (рис. 301, *а*) и двухъярусная (рис. 301,*б*). В двухъярусной опалубке верхний щит устанавливается на нижний. По мере бетонирования нижние щиты вертикально перемещают в следующую за верхними щитами позицию.

Различают наружные и внутренние крепления опалубки. Наружные крепления представляют собой жесткую систему подкосов, стоек и связей, передающих на внешнюю неподвижную опору (чаще всего на основание) давление бетонной смеси на опалубку. Все элементы крепления расположены вне бетонируемого блока и внутриблочное пространство свободно от них, что облегчает подготовку блока и укладку бетонной смеси. Наружные крепления применяются при невысоких сооружениях до 4—6 *м* (рис. 302,*а*).

Внутренние крепления представляют собой систему анкеров и тяжей, расположенных и закрепленных во внутриблочном пространстве(рис. 302,*б*). Точками закрепления служат анкеры, предварительно закладываемые в бетон, скальное основание или расположенные напротив опалубочные щиты.

Тяжи служат для удержания верхней части щита; по простейшей схеме внутреннего крепления основной его элемент—анкер или тяж, закрепленный за какую-либо неподвижную точку, проходит сквозь опалубку и закрепляется на ее тыльной стороне гайкой, зажимом или просто закруткой. Однако это крепление имеет ряд недостатков, поэтому в настоящее время получило широкое применение расчленение анкеров и тяжей на две части, соединяющиеся между собой резьбой. Внутренняя часть остается в бетоне, а внешняя отходит вместе с опалубкой при ее распалубке.

Разборно-щитовую опалубку обычно изготовляют из дерева, но можно применять и фанеру.

На Волгодонстрое применялись щиты трех типов: 3×5, 1,1×5 и 2,5×5 *м*. Для опалубки использовались чисто обрезные хвойные доски тол-

щиной 38 *мм* и бруски сечением 18×23 *мм*. Для облегчения распалубки лицевые поверхности смазывались известковым молоком, искусственной олифой или светлыми регенерированными маслами; олифа и масла хорошо предохраняли опалубку от чрезмерного высыхания и увлажнения. На 1 $м^2$ обычной деревянной опалубки на Волгодонстрое расходовалось 0,09 $м^2$ лесоматериалов и 12,2 *кг* металла, из них 10,5 *кг* необорачиваемого.

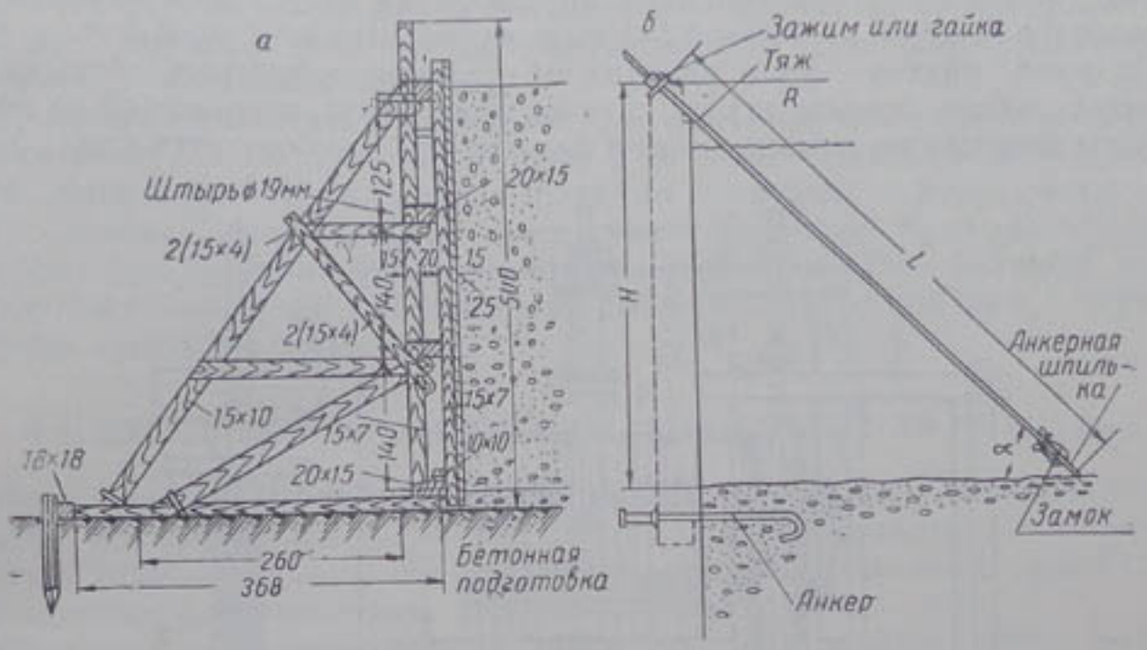


Рис. 302. Крепление щитовой опалубки:
а—наружное; б—внутреннее.

Стационарная опалубка изготовляется в самом блоке, что связано с большими затратами времени и труда; она не приспособлена к быстрой и простой разборке, что снижает ее оборачиваемость и повышает стоимость. Поэтому стационарной опалубкой следует пользоваться лишь в особых случаях, когда применение щитовой опалубки нерационально. На Волгодонстрое стационарная опалубка применялась в межблочных строительных швах, пересеченных горизонтальной рабочей арматурой, которую необходимо было пропускать через опалубку.

§ 3. ПОЛЗУЧАЯ ОПАЛУБКА

Этот вид опалубки представляет собой прочную деревянную ферму небольшой высоты (1—2 *м*), охватывающую сооружение по всему контуру с внешней и внутренней стороны и передвигающуюся вверх по мере бетонирования.

Опалубка (рис. 303,*а*) состоит из двух рядов вертикальных досок *1* шириной 10—12 *см* и толщиной 20—25 *мм*, пришитых к двум рядам внешних и внутренних кружал *2*. С двух сторон к кружалам прикреплена П-образная рама, состоящая из двух вертикальных стоек *3*, соединенных болтами с двумя парами горизонтальных схваток *4* и *5*. К вертикальным брусьям рамы прикреплены уголками и болтами кружала опалубки. Опалубка и П-образная рама висят на вертикальных упорных стальных стержнях диаметром 25 *мм*, длиной 4—5 *м*, заделанных в бетон, наращиваемых по мере подъема опалубки и соединенных с винтовыми домкратами; при помощи последних опалубка и связанные с ней рамы перемещаются вверх.

Винтовой домкрат (303,*б*) состоит из полого винта *9*, гайки *10*, закрепленной на верхних горизонтальных схватках рамы, и буксы *11* со стальными челюстями, сжимающими упорный стержень *13*, проходящий внутри винта. На верхней части винта насажена головка, имеющая четыре патрубка для вставки рычагов, вращающих винт. При вращении винта гайка движется вверх и поднимает связанные с ней П-образную раму, кружала и опа-

лубку. Вся нагрузка от опалубки передается упорным стержнем, втопленным в бетон и остающимся в нем.

На нижней паре кружал при помощи подвески *6* и троса *7* укрепляется площадка *8*, с которой отделывают боковую поверхность бетона. Арматуру и бетон укладывают в опалубку с рабочего пола *14*, опирающегося на кружала ребрами из досок.

Расстояние между установками определяется из условия максимальной нагрузки на каждую не более 1250 *кг* и изменяется от 1 до 2,5 *м*.

Скорость подъема ферм зависит от условий твердения. Оптимальной скоростью можно считать такую, при которой бетон, выходящий из опалубки, будет твердым на ощупь, но при нажатии на него остается след. Макси-

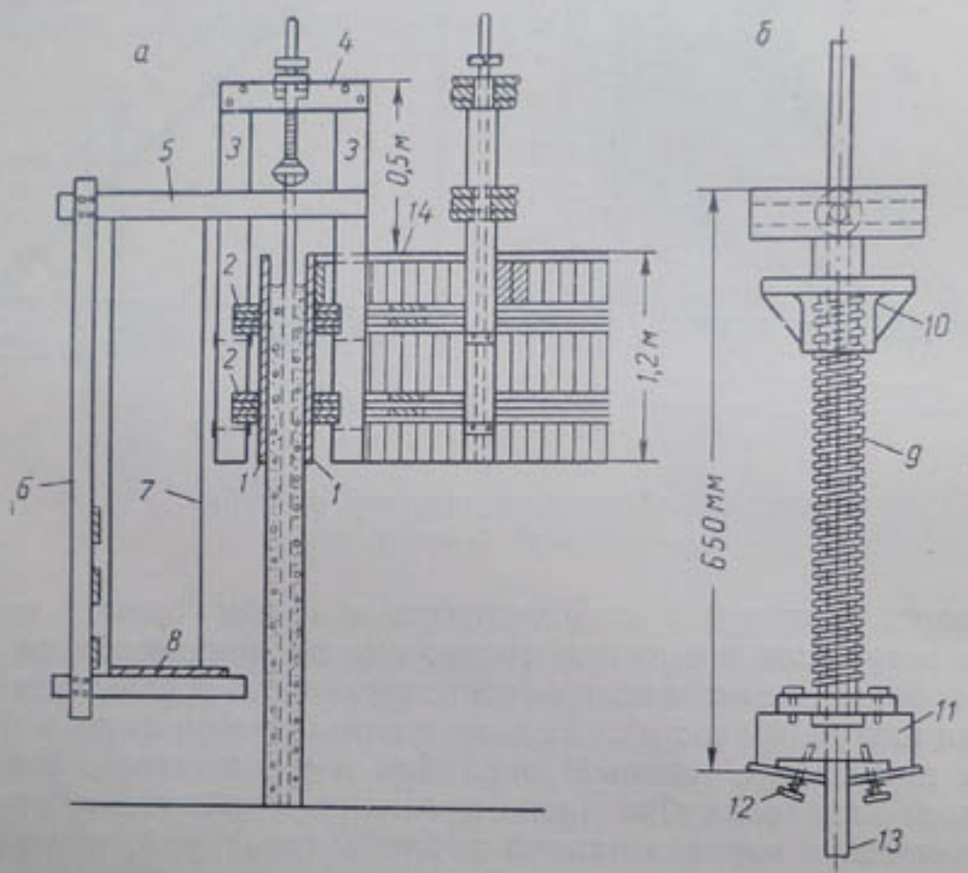


Рис. 303. Ползучая опалубка:

а—опалубка; *б*—винтовой домкрат. *1*—опалубка; *2*—кружала; *3*—стойки П-образной рамы; *4* и *5*—верхняя и нижняя схватки П-образной рамы; *6* и *7*—подвеска и тросы для прикрепления площадки *8*; *9*—полый винт; *10*—гайка; *11*—букса со стальными челюстями *12*; *13*—упорный стержень; *14*—рабочий пол.

мальной является скорость, при которой бетон, освобождающийся от опалубки, держится в отвесной стенке, но разбирается руками. При минимальной скорости подъема выходящий из опалубки бетон не обдирает досок опалубки и настолько тверд, что для разборки его требуется инструмент.

При цементе марки 300 в летних условиях бетонирование можно вести со скоростями до 3 *м* в сутки.

Подъем ферм начинают, когда толщина бетона достигает 60—70 *см*. При нормальных летних условиях и цементе марки 300 можно отрывать фермы через 3 часа после укладки первого слоя бетона. Сначала фермы поднимают со скоростью 2—3 *см/час*, а в дальнейшем, по мере нарастания прочности бетона, скорость доводят до оптимальной.

Чтобы облегчить свободный выход схватывающегося бетона из ферм, последние должны расширяться книзу на 4—8 *мм*. С этой же целью опалубку надо прострогать и проолифить. Бетон применяется с осадкой конуса не менее 4—5 *см*. Опасения некоторых строителей о недопустимости вибрации при ползучей опалубке опровергнуты практикой, но вибраторы не должны углубляться ниже укладываемого слоя; тисковые вибраторы применять нельзя.

Во время удлинения упорного стержня (перезарядки) нагрузка, приходящаяся на перезаряжаемую установку, распределяется на соседние и на участок опалубки, обслуживаемый перезаряжаемой установкой; при этом последняя проседает на 1—2 *см*. Не следует поэтому перезаряжать одновременно две соседние установки; после перезарядки винтовой домкрат необходимо повернуть так, чтобы просевшие фермы вернулись к прежнему уровню.

Во время подъема ферм необходим постоянный контроль за их горизонтальностью; за один прием не следует поднимать фермы больше чем на 12 *мм*. Бетонирование и подъем ферм должны вестись круглосуточно без перерывов в нерабочие дни.

Применение ползучей опалубки экономически целесообразно при возведении сооружений высотой не менее 7—8 *м* (резервуаров, водопроводных башен, дымовых труб), а также массивных сооружений (подпорных стенок, быков, устоев). В последних случаях применение подвижной опалубки целесообразно при толщине массивов не более 1,5—2 *м*. При большей толщине конструкция опалубки усложняется, стоимость ее возрастает и эффект от ползучей опалубки снижается.

§ 4. ПЕРЕДВИЖНАЯ ФАНЕРНАЯ И МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ ОПАЛУБКА

Передвижная опалубка состоит из отдельных щитов, передвигаемых по мере бетонирования на новое место; она применяется при постройке длинных горизонтальных сооружений постоянного сечения (туннелей, канализационных коллекторов, водопроводных труб и т. п.).

Фанерная разборно-щитовая опалубка представляет собой рамку из брусков сечением 60×40 *мм*, связываемых вполдерева или вшип; к рамке приклеивают фанеру толщиной 14—16 *мм* на водоустойчивом клее с запрессовкой ее монтажными гвоздями при шаге 15—20 *см*. Длина щитов 1; 1,5 и 2 *м*, ширина 0,35; 0,50; 0,65 и 0,80 *м*. Фанерная опалубка оборачивается значительно большее число раз, чем обычная опалубка из досок, вес ее меньше, поверхность бетона получается гладкой. Однако дефицитность и высокая стоимость фанеры водостойких сортов ограничивают ее широкое применение.

Металлическая опалубка. Щиты окаймляют по бокам уголками 25×25 *мм*; посредине ставят уголок жесткости. К уголкам шарнирно присоединены захваты, что позволяет легко и быстро собирать и разбирать опалубку. К достоинствам металлической опалубки относится ее прочность, легкость установки и распалубки, очень высокая оборачиваемость и получение гладкой поверхности бетона после распалубки. Разработанные конструкции щитов металлической опалубки имеют размеры 50×100; 50×50; 25×100; 12,5×100 *см*.

К недостаткам металлической опалубки относятся большая стоимость, высокая теплопроводность и трудность крепления на ее поверхности форм для шпонок и штраб. По данным зарубежной практики, металлическая опалубка может конкурировать с деревянной при оборачиваемости ее до 25 раз.

Опытами В. М. Москвина и И. А. Якуб установлено, что в бетонной смеси на портланд-цементе водоцементное отношение, равное 0,65, после вибрации уменьшается в середине формы до 0,61 и увеличивается у опалубки до 0,72. Металлическая опалубка, водонепроницаемая и упругая, способствует увеличению водосодержания в поверхностном, примыкающем к ней слое бетона, так как она, подобно мембране насоса, в результате своих колебаний отсасывает свободную воду из бетонной смеси. В результате этого наружный слой бетона у металлической опалубки получается неплотным и пористым.

§ 5. ОПАЛУБОЧНЫЕ МАСТЕРСКИЕ

Мастерские для изготовления опалубки устраивают в закрытом помещении и планируют так, чтобы материал продвигался по мере его обработки по кратчайшему пути без встречного движения и без разворачивания досок

и щитов. Рядом с мастерской располагают склады досок и круглого леса, подаваемого по внутрипостроечному транспорту. Одна из возможных схем опалубочной мастерской показана на рисунке 304. Опалубочные мастерские располагают вблизи от бетонируемого сооружения.

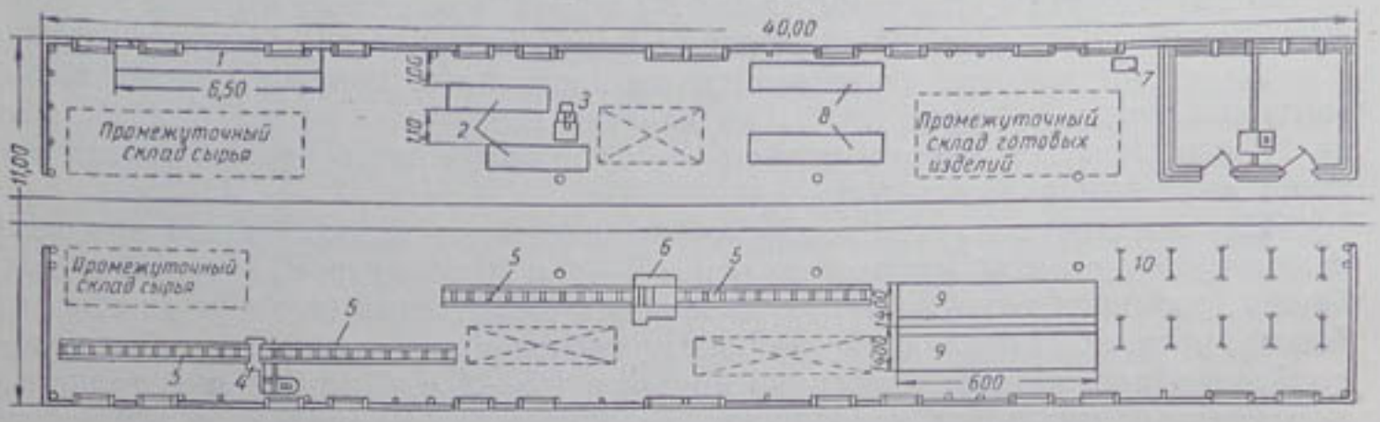


Рис. 304. План опалубочной мастерской:

1—циркулярная пила; *2*—столы у ленточной пилы; *3*—ленточная пила; *4* педальная пила; *5*—роликовые столы; *6*—рейсмусный станок; *7*—точильный станок; *8*—сборочные верстаки; *9*—верстаки-шаблоны для щитов; *10*—козелки.

Основная работа по изготовлению опалубки выполняется на верстаках для сборки щитов длиной около 6 *м*, шириной 1—1,2 и высотой 0,8 *м*.

§ 6. УСТАНОВКА ОПАЛУБКИ

Опалубку доставляют к месту укладки на вагонетках-платформах узкой колеи или на автомашинах и поднимают кранами на сооружение. Перед сборкой опалубки разбивают оси и размеры блоков.

Щиты соединяют после проверки их положения в плане и по высоте. Особое внимание следует обращать на плотность пригонки щитов друг к другу. До начала бетонирования за опалубкой необходимы наблюдение и уход. В сухое время года в результате усушки опалубки в ней могут образоваться щели. В дождливое время может начаться выпучивание опалубки, особенно если она изготовлена из сухого леса.

Чтобы предупредить рассыхание, опалубку замачивают по матам или рогожам в вечернее время, когда испарение уменьшается. При значительном рассыхании опалубку приходится заделывать рейками.

Если опалубка недостаточно раскреплена в вертикальном направлении, то могут появиться перекосы, которые следует устранить; при значительных перекосах иногда приходится разбирать и переставлять опалубку.

В процессе бетонирования нужно вести непрерывное наблюдение за состоянием опалубки и своевременно исправлять обнаруженные дефекты.

§ 7. ОПАЛУБКА ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ-ОБОЛОЧЕК

Этот вид опалубки был предложен и впервые внедрен проф. В. Д. Журиным при сооружении верхневолжских гидроузлов в 1934—1941 годах; за рубежом подобный тип опалубки был использован только через 10 лет в небольших масштабах при ремонте плотины Бакер. В настоящее время плиты-оболочки широко применяются. На Волгодонстрое ими было покрыто около 200 тыс. $м^2$ поверхностей сооружений; еще в бо́льших масштабах использовались плиты-оболочки на Куйбышевгидрострое и на строительстве Каховской ГЭС.

Как установлено опытными данными, коэффициент фильтрации бетона плиты-оболочки примерно в 100 раз меньше, чем массивного бетона или облицованного[1]. После 10-летней эксплуатации плиты-оболочки верхневолж-

[1] М. П. Седов. Защитные оболочки и сварные армоконструкции в гидротехническом строительстве. Госэнергоиздат, 1953.

ских гидроузлов оказались достаточно надежной защитной оболочкой сооружений, находились в хорошем состоянии в подводных и надводных частях сооружений с плотным и прочным сопряжением плит с массивным бетоном. При обследовании не было отмечено коррозии арматуры ни в самих

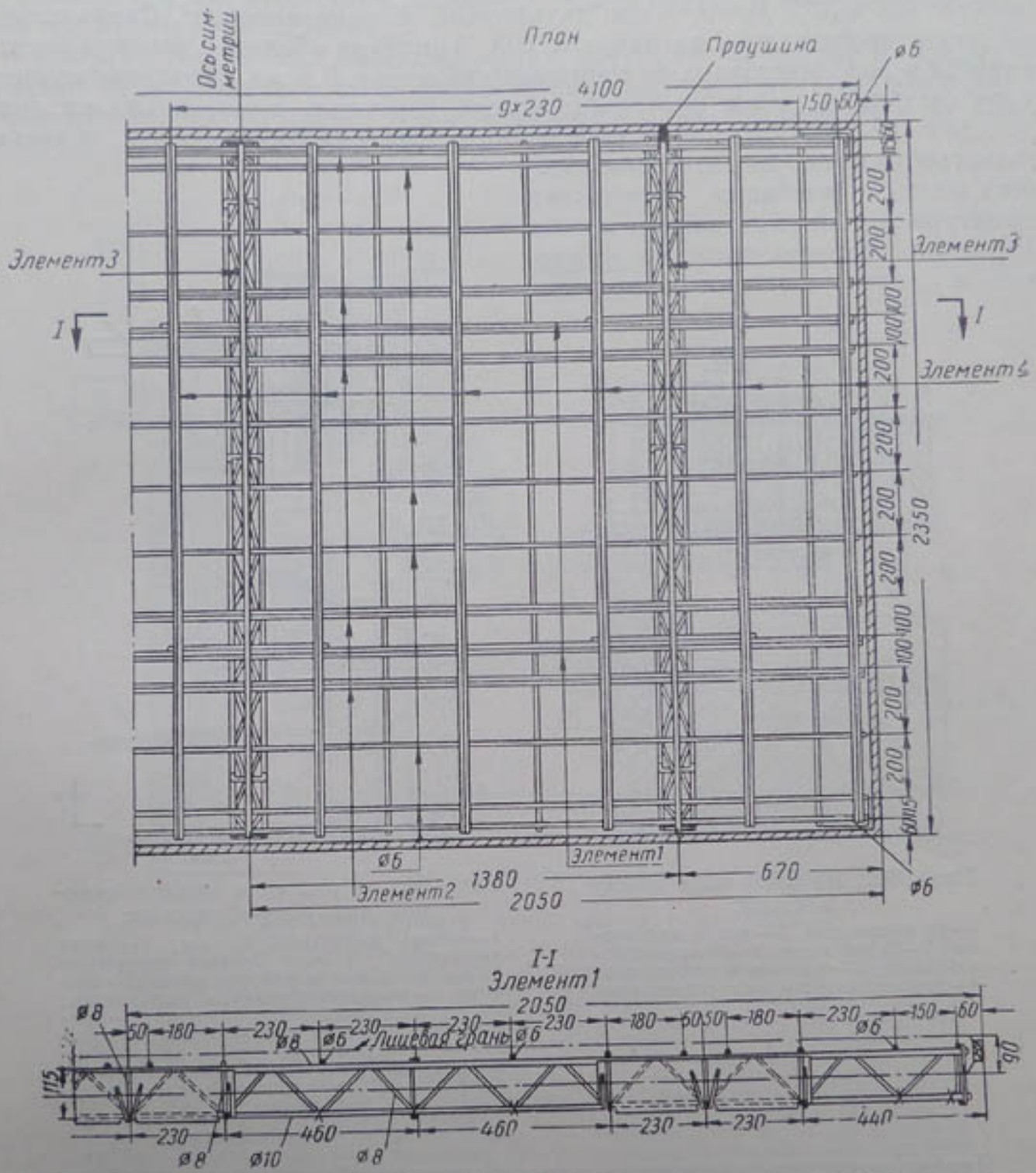


Рис. 305. Арматурный каркас типовой плиты-оболочки № 1 бычков водосливной плотины.

плитах, ни в бетоне массива. Ноздреватость поверхностей плит в зонах переменных горизонтов, как установлено технической комиссией, объясняется недостаточной морозостойкостью примененного гравия, а обнаруженные на плитах трещины могли быть предотвращены повышенными требованиями к качеству плит и строгим техническим контролем при производстве работ.

Плиты-оболочки на Цимлянском гидроузле имели стандартный размер $4{,}1 \times 2{,}35 \times 0{,}09$ *м*, площадь плиты 9,65 $м^2$, объем 0,87 $м^3$; содержание арматуры около 150 $кг/м^3$. На Волгострое плиты-оболочки имели размеры $2{,}5 \times \times 5$ *м*, толщину 8 *см*, а содержание арматуры было около 70 $кг/м^3$.

На Куйбышевгидрострое железобетонные плиты-оболочки применялись для опалубливания тыловых поверхностей, засыпаемых грунтом, для

подводных поверхностей, расположенных ниже минимальных горизонтов грунтовой воды, и для опалубок осадочных швов, где не требуется особой плотности и водонепроницаемости; толщина плит 4,5 *см*. Стоимость этой железобетонной опалубки с учетом замены части основного бетона была 35,4 *руб/м²*, тогда как деревянная опалубка стоила 27,6 *руб/м²* при четырехкратной и 37,4 *руб/м²*—при двукратной оборачиваемости[1]. Схема плиты-оболочки представлена на рисунке 305. Арматура оболочек заранее изготовляется в виде матрасика из стержней диаметром 6,5 *мм*. Продольная арматура состоит из трех пространственных фермочек высотой 120 *мм*, передающих давление бетонной смеси на прикрепляемые к ним тяжи, и восьми зигзагообразных змеек, связывающих плиту с массивом. Поперечная арматура состоит из двух треугольных фермочек, четырех плоских фермочек и десяти монтажных прутьев.

Рис. 306. Профиль шва между плитами:

а—до зачеканки; *б*—после зачеканки: *1*—бетон плит; *2*—основной бетон блока; *3*—раствор заделки шва; *4*—деревянное реечное обрамление плит.

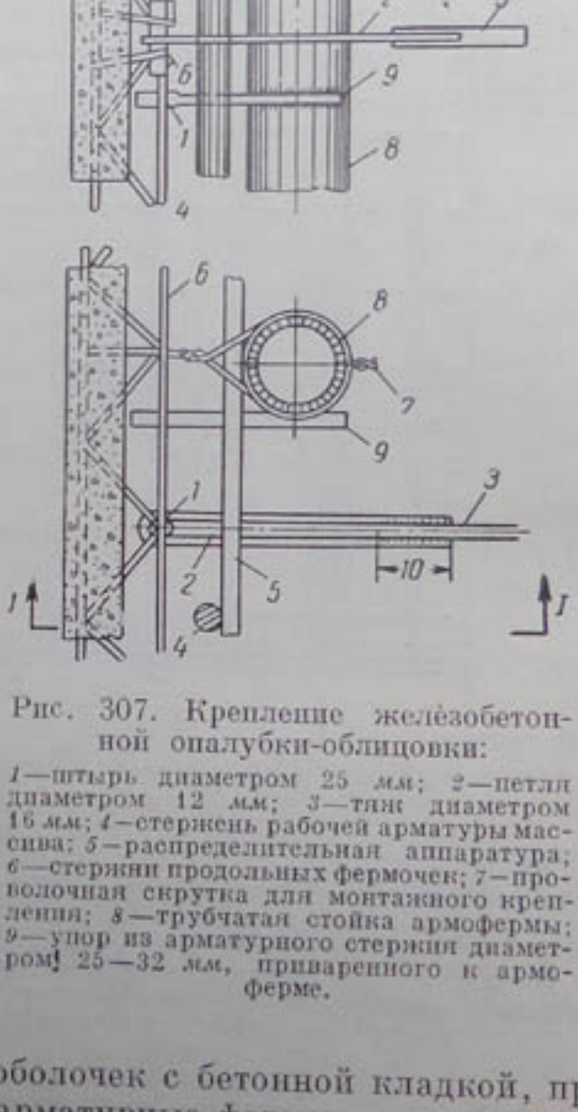


Рис. 307. Крепление железобетонной опалубки-облицовки:

1—штырь диаметром 25 *мм*; *2*—петля диаметром 12 *мм*; *3*—тяж диаметром 16 *мм*; *4*—стержень рабочей арматуры массива; *5*—распределительная аппаратура; *6*—стержни продольных фермочек; *7*—проволочная скрутка для монтажного крепления; *8*—трубчатая стойка армофермы; *9*—упор из арматурного стержня диаметром 25—32 *мм*, приваренного к армоферме.

Чтобы повысить сцепление плит-оболочек с бетонной кладкой, принимают следующие меры: а) выпускают арматурные фермочки из тела облицовки примерно на половину высоты; б) обсыпают мелким щебнем тыльную поверхность плит («шуба») незадолго до окончания вибрирования для придания ей шероховатости; в) обрабатывают пескоструйным аппаратом поверхность плиты, обращенную внутрь блока.

Плиты-оболочки обрамляются по периметру деревянными рейками[2]; они предохраняют кромки плит от ударов при нагрузке, перевозке и установке, уплотняют швы между плитами для предотвращения утечки раствора и цементного молока, образуют (после удаления реек) ровные швы

---

[1] В. С. Тараканов. Новые типы опалубки. Куйбышевгидрострой, Производственный бюллетень №, 2, 1955.

[2] Л. А. Кайзер. Заводское изготовление сборных железобетонных оболочек гидротехнических сооружений. Госстройиздат, 1954.

одинаковой толщины, заполняемые жестким цементным раствором. Реечное обрамление выполняют из следующих элементов (рис. 306): рейки *А*, удаляемой после изготовления плиты на заводе или в процессе монтажа до бетонирования блока; рейки *Б*, фиксирующей толщину шва между плитами и удаляемой после окончания твердения бетона блока; рейки *В*, придающей шву архитектурную отделку.

Один из возможных способов крепления плит облицовки к арматуре показан на рисунке 307. Опалубленный блок заполняется бетонной смесью и уплотняется вибраторами. Уровень бетона в блоке не доводится до верх-

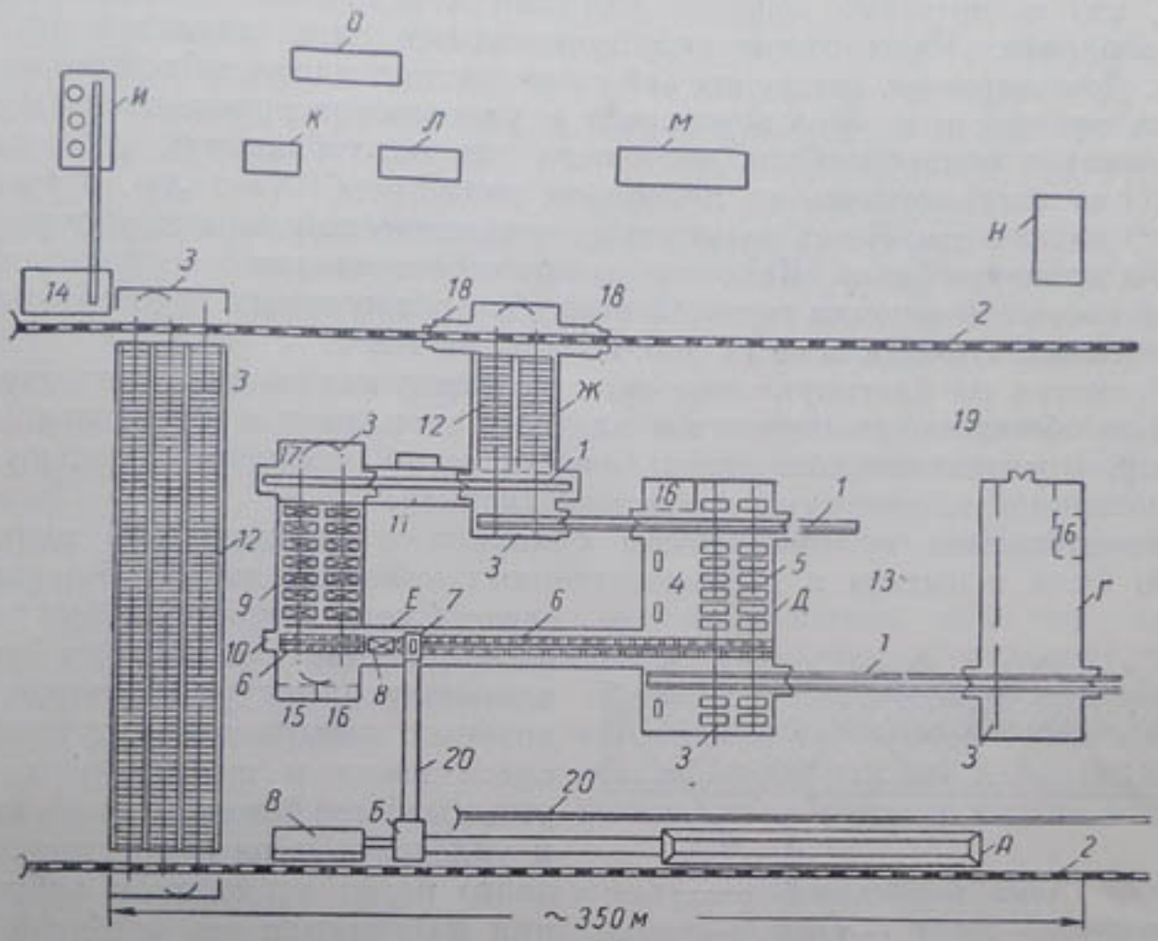


Рис. 308. Генеральный план завода плит-оболочек:

А—траншейные склады заполнителей для бетона; *Б*—бетоносмесительный узел; *В*—склад цемента; *Г*—арматурный цех; *Д*—цех подготовки форм; *Е*—цех бетонирования и пропаривания; *Ж*—цех выдержки; *З*—склад готовых изделий; *И*—котельная; *К*—компрессорная; *Л*—механическая мастерская; *М*—контора завода; *Н*—мастерская по изготовлению форм; *О*—материальный склад: *1*—пути широкой колеи для специальных вагонеток; *2*—железнодорожные пути нормальной колеи; *3*—монорельсовые подвесные пути тельферных кранов; *4*—станочное отделение цеха форм; *5*—стапели для сборки и подготовки форм; *6*—роликовые конвейер-рольганги для формы; *7*—бункер для заполнения форм бетоном; *8*—виброплощадка (вибростол); *9*—пропарочные камеры; *10*—помещение для лебедки рольганга; *11*—камера пескоструйной очистки плиты: *12*—кассетное устройство для хранения плит; *13*—склад арматурных каркасов; *14*—склад угля; *15*—пульт дистанционного замера температуры в пропарочных камерах; *16*—конторки цехов; *17* места для складирования крышек пропарочных камер; *18*—тамбур для железнодорожных вагонов с контейнерами; *19*—склад арматурного металла; *20*—транспортерные галереи.

ней кромки оболочки на 20—30 *см*, и образовавшееся корыто заполняется небольшим слоем воды. Это создает перекрытие рабочих швов и стыков оболочек.

Генеральный план завода плит-оболочек показан на рисунке 308. Завод состоит из следующих основных цехов: арматурного *Г* со складом готовой продукции; цеха *Д* подготовки форм; главного приводного конвейера-рольганга *6* с цехом бетонирования *7* и вибрирования *8*; цеха пропаривания *9*; цеха очистки плит *11*; цеха распалубки, выдержки и контроля; склада готовой продукции. Кроме основных цехов, завод должен иметь небольшую ремонтную мастерскую, компрессорную, котельную, склад горюче-смазочных материалов, лабораторию.

§ 8. НОВЫЕ ТИПЫ ОПАЛУБКИ КУЙБЫШЕВГИДРОСТРОЯ[1]

Опалубка из волнистого асбошифера применялась на ряде блоков рисбермы водосливной плотины. Листы асбошифера после бетонирования не снимались и распалубка не производилась, что давало возможность бетонировать блоки один возле другого без перерывов. Недостаток опалубки из волнистого асбошифера состоит в ее хрупкости.

Асбестоцементные плиты применялись на Куйбышевгидрострое в порядке небольшого, но удачного опыта. Стоимость их 11 руб. 50 коп. за 1 $м^2$, что значительно дешевле деревянной опалубки и железобетонных плит-оболочек. Недостатком асбестоцементных плит является их хрупкость. Для широкого внедрения асбестоцементных плит необходимо повышение их прочности и морозостойкости и уменьшение водопоглощаемости.

Сетчатая опалубка была применена для опалубливания строительных швов; она изготовлялась из проволоки диаметром 0,7—1 *мм*, с ячейками от 3×3 до 5×5 *мм*. Сетка натянута на металлический каркас, который крепится к арматуре блока. Накопленный на строительстве опыт показал целесообразность применения сетчатой опалубки в массивных гидротехнических сооружениях. Стоимость ее 11 руб. 50 коп. за 1 $м^2$.

Несмотря на благоприятные экономические показатели, сетчатая опалубка не обеспечивает прочного и плотного сцепления в строительном шве. Раствор, просачивающийся сквозь ячейки сетки, образует довольно гладкую поверхность, покрытую цементной пленкой.

Междублочная железобетонная опалубка с двусторонней шероховатостью была испытана в производственных условиях на Куйбышевгидрострое. Схема такой опалубки показана на рисунке 309. В форму *3* устанавливается арматурный каркас *1*, на который насыпается подушка *4* из смеси песка и щебня; после этого укладывается бетонная смесь плиты *2* и уплотняется на вибростоле. Незадолго перед окончанием вибрирования на поверхность бетонной смеси насыпается щебень и производится вторичное вибрирование для образования «шубы» на верхней поверхности. Шероховатость нижней плоскости плиты образуется в результате частичного включения щебня из верхнего слоя подушки в бетон плиты. После окончания твердения верхняя поверхность плиты обрабатывается пескоструйным аппаратом, а непрочно держащиеся частицы песка и куски щебня удаляются с нижней поверхности сжатым воздухом или струей воды под напором. При изготовлении опалубки щебень из верхнего слоя подушки втапливается в бетон на $^1/_2$—$^1/_3$ своего диаметра. Двусторонняя шероховатость и двусторонние выпуски арматуры обеспечивают плотное и прочное сцепление плиты опалубки с бетоном блоков[2].

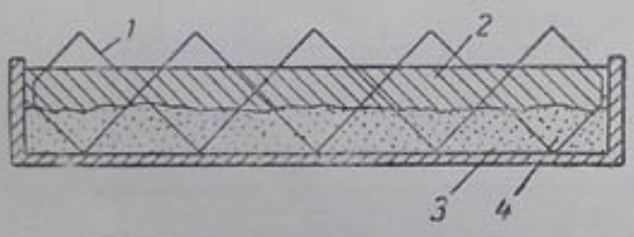


Рис. 309. Схема межблочной опалубки: *1*—армокаркас; *2*—плита; *3*—форма; *4*—подушка.

§ 9. ЩИТОВАЯ ВАКУУМ-ОПАЛУБКА, ВЛАГОПОГЛОЩАЮЩАЯ И ДРЕНИРУЮЩАЯ ОПАЛУБКА

Щитовая вакуум-опалубка. Чтобы повысить удобообрабатываемость бетонной смеси, в нее приходится вводить значительно большее количество воды, чем необходимо для гидратации цемента. Значительная часть этой свободной, химически не связанной воды в последующем испаряется и бетон приобретает пористую структуру. Особенно пористыми и слабыми стано-

[1] В. С. Тараканов. Новые типы опалубки. Куйбышевгидрострой, Производственный бюллетень № 2, 1953.

[2] А. Г. Золотарев. Междублочная железобетонная опалубка с двусторонней шероховатостью. «Гидротехническое строительство» № 4, 1957.

вятся наружные слои, соприкасающиеся с опалубкой. Неплотный пористый бетон с внешней стороны гидротехнических сооружений быстро изнашивается и разрушается. Поэтому вакуумирование бетонной смеси, связанное с отсасыванием излишней воды, а также воздуха повышает физико-механические свойства бетона.

Прочность вакуумированного бетона в суточном, семидневном и четырнадцатидневном возрасте равна прочности невакуумированного в возрасте соответственно трех, четырнадцати и 28 дней. Это дает возможность сокращать сроки распалубки и уменьшать время пропаривания при изготовлении сборных конструкций.

На Волгодонстрое на опытном полигоне плиты-оболочки при вибровакуумировании изготовлялись в летнее время без пропаривания и после выдержки на воздухе поднимались краном через 24 часа. Прочность вакуумированного бетона в годовом и более позднем возрасте выше невакуумированного на 15—25%, что позволяет уменьшить расход цемента. Морозостойкость вакуумированного бетона в $2^1/_2$ раза выше, чем невакуумированного, водонасыщение меньше, чем у обычного бетона, на 30—35%, а капиллярный подсос уменьшается почти в два раза. Значительно увеличивается (примерно в полтора раза) стойкость вакуумированной бетонной поверхности против истирания.

Благодаря указанным положительным свойствам вакуумирование получило на гидростройках значительное распространение. На Цимлянском гидроузле отвакуумировано более 130 тыс. $м^2$ бетонных поверхностей, на плотине Шаста (Калифорния) 32,5 тыс. $м^2$, на плотине Сен-Круа (Висконсин) 25 тыс. $м^2$, на плотине Фонтана 20 тыс. $м^2$.

Вакуумирование применяется преимущественно для тех элементов, гидросооружений, поверхности которых находятся в наиболее тяжелых условиях, подвергаясь воздействию больших скоростей, либо многократному попеременному замораживанию и оттаиванию. На Цимлянском гидроузле к таким поверхностям были отнесены: водосливная часть плотины, плиты и гасители на водобое, рисберма, бычки, полубычки и колена отсасывающих труб гидростанции.

Вакуумирование осуществляется созданием разрежения на поверхности только что уложенной и уплотненной вибраторами бетонной смеси; для этого между опалубкой и бетонной смесью устраивается тонкая воздушная полость, в которой при помощи вакуум-насоса создается вакуум (рис. 310,*а*). Освобождение пор от свободной воды и воздуха происходит вследствие разницы между атмосферным давлением внутри бетонной смеси и разреженным в вакуум-камере, в результате чего бетонная смесь дополнительно уплотняется. Кроме того, ее уплотнению способствует и капиллярное обжатие, возникающее в зоне вакуумирования.

Указанная полость создается прокладкой двух слоев тканей и плетеных металлических сеток, прикрепляемых к внутренней поверхности опалубки. Во избежание уноса цементных частиц поверхность сетки, обращенная к бетонной смеси, покрывается фильтровальной тканью. После вакуумирования, если бетонная смесь еще не потеряла своей подвижности, целесообразно произвести повторное вибрирование.

Принципиальная схема вакуум-установки приведена на рисунке 310,*б*. Эти установки бывают передвижными и стационарными.

По данным С. Г. Скворцова, для бетонов марки 140—200 с подвижностью смеси 4—6 *см* при разрежении 500 *мм рт. ст.* вакуумирование должно продолжаться:

| | | |

Если вакуум будет меньше, то продолжительность вакуумирования пропорционально увеличивается. Для бетонов на пуццолановом цементе ввиду их большей водоудерживающей способности продолжительность вакуумирования возрастает примерно в полтора раза.

На одной из строек при разрежении 500 *мм рт. ст.* и продолжительности вакуумирования 40—50 *мин* с 1 $м^2$ поверхности удалялось от 3 до 6 *л* воды[1]. Вакуум-щиты на Волгодонстрое оборачивались в среднем четыре раза, а фильтровальная ткань 8—10 раз.

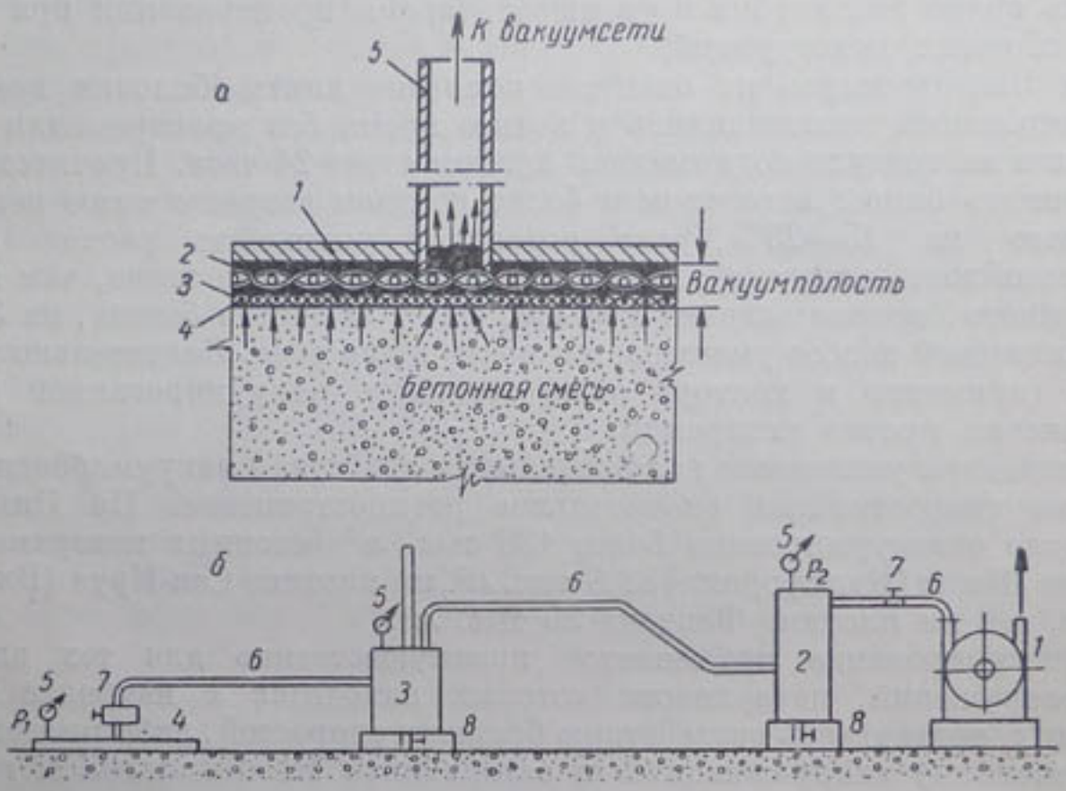


Рис. 310. Вакуумирование бетона:

а—устройство вакуум-полости: *1*—опалубка; *2*—металлическая сетка с ячейкой 4,5—6 *мм*; *3*—металлическая сетка с ячейкой 1,2—2,5 *мм*; *4*—фильтровальная ткань; *5*—штуцер. *б*—принципиальная схема вакуум-установки: *1*—вакуум-насос; *2*—ресивер; *3*—водосборный бачок; *4*—вакуум-камера; *5*—вакуумметр; *6*—трубопровод; *7*—вентиль; *8*—вентиль для выпуска воды.

По данным некоторых строек, дополнительные затраты на вакуумирование при хорошей организации работ составляют в среднем 3—5 руб. на 1 $м^3$ бетона. При массовом вакуумировании эти затраты компенсируются экономией цемента, повышением оборачиваемости опалубки; кроме того, вакуумирование повышает долговечность сооружений.

Влагопоглощающая (абсорбирующая) опалубка имеет целью извлечь часть свободной воды из прилегающего к опалубке слоя бетонной смеси и в результате возникающего процесса дополнительно уплотнить бетон. Накопленный опыт показывает большие преимущества бетона, уложенного в водопоглощающей опалубке. Поверхность его ровная, без раковин, пор и пустот; она не требует дополнительной обработки.

Материалом для водопоглощающей опалубки служат древесные стружки с добавлением опилок, отходы соломы, камыша, хлопчатника. По данным зарубежной практики, применение этой опалубки позволяет отсасывать из бетона воду на глубину 7—7,5 *см*. Прочность бетона, прилегающего к водопоглощающей опалубке, на 50% выше обычной; значительно увеличивается также его плотность, морозостойкость и водонепроницаемость.

Дренирующая опалубка представляет собой металлическую сетку с ячейками в 2—4 *мм*, прикрепленную к лицевой поверхности опалубки и покрытую со стороны блока фильтровальной тканью или непроклеенным

[1] В. В. Ермолов, Г. Д. Петров. Опалубка массивных сооружений ГЭС. Госэнергоиздат, 1954.

картоном толщиной 0,6—0,8 *мм*. По данным С. И. Зубовича и М. И. Попова, с 1 $м^2$ дренирующей опалубки можно извлечь 3,75 *л* воды и значительно повысить прочность, водонепроницаемость и морозостойкость; дополнительные расходы, связанные с устройством 1 $м^2$ дренирующей опалубки, составляют лишь 1,6 руб.

Глава XXIII

СБОРНЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ НА МЕЛИОРАТИВНОЙ СЕТИ. КАНАЛЫ-ЛОТКИ. БЕТОННЫЕ ОДЕЖДЫ КАНАЛОВ[1]

§ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Возведение сооружений из сборных элементов является наиболее прогрессивным методом строительства, так как работа по существу сводится лишь к монтажу элементов (блоков) строящегося сооружения, заранее изготовленных на заводах или полигонах и доставленных на строительную площадку.

Масштаб применения сборных конструкций служит показателем уровня индустриализации и механизации данного строительства. Использование сборных элементов способствует повышению производительности труда, сокращению сроков строительства, повышению качества работ и снижению их стоимости. Выпуск сборных железобетонных изделий для всех отраслей народного хозяйства СССР намечено довести в 1960 г. до 28 млн. $м^3$, а в 1965 г. до 42—45 млн. $м^3$, в том числе из предварительно-напряженного железобетона—11 млн. $м^3$.

Намечено расширить применение сборных железобетонных конструкций в водохозяйственном строительстве, в том числе на работах по облицовке каналов: за семилетку будет использовано 7,3 млн. $м^3$ сборного железобетона, в том числе не менее 40% предварительно-напряженных железобетонных конструкций.

Применение сборных конструкций особенно эффективно на строительстве оросительной сети, где приходится возводить значительное количество, обычно однотипных сооружений (150—200 на 1 тыс. *га*), небольших по объему (1—1,5 $м^3$), рассредоточенных на большой территории, как правило, вдали от промышленных и жилых центров и путей сообщения.

Разбросанность гидротехнических сооружений на оросительной сети при их небольшом объеме требует особо тщательной подготовки к строительно-монтажным работам и их безупречной организации. Особое внимание должно быть уделено последовательности выполнения отдельных процессов возведения сооружений, нарушение которой может вызывать непроизводительные простои.

Для выполнения строительно-монтажных работ необходимо использовать высокопроизводительные и мобильные машины (универсальные экскаваторы Э-153, пневмоколесные экскаваторы Э-353, автомобильные краны К-32, К-52 и т. п.); число таких машин в комплектах и время на холостые переходы с одного объекта работы на другой будут минимальными.

§ 2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ (БЛОКОВ) ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Конструкции и детали из железобетона для сборных сооружений изготовляются на заводах и полигонах. На рисунке 311 представлен генеральный план завода железобетонных изделий производительностью 10 тыс. $м^3$ в год.

---

[1] Глава XXIII написана инж. М. И. Ярушиным.

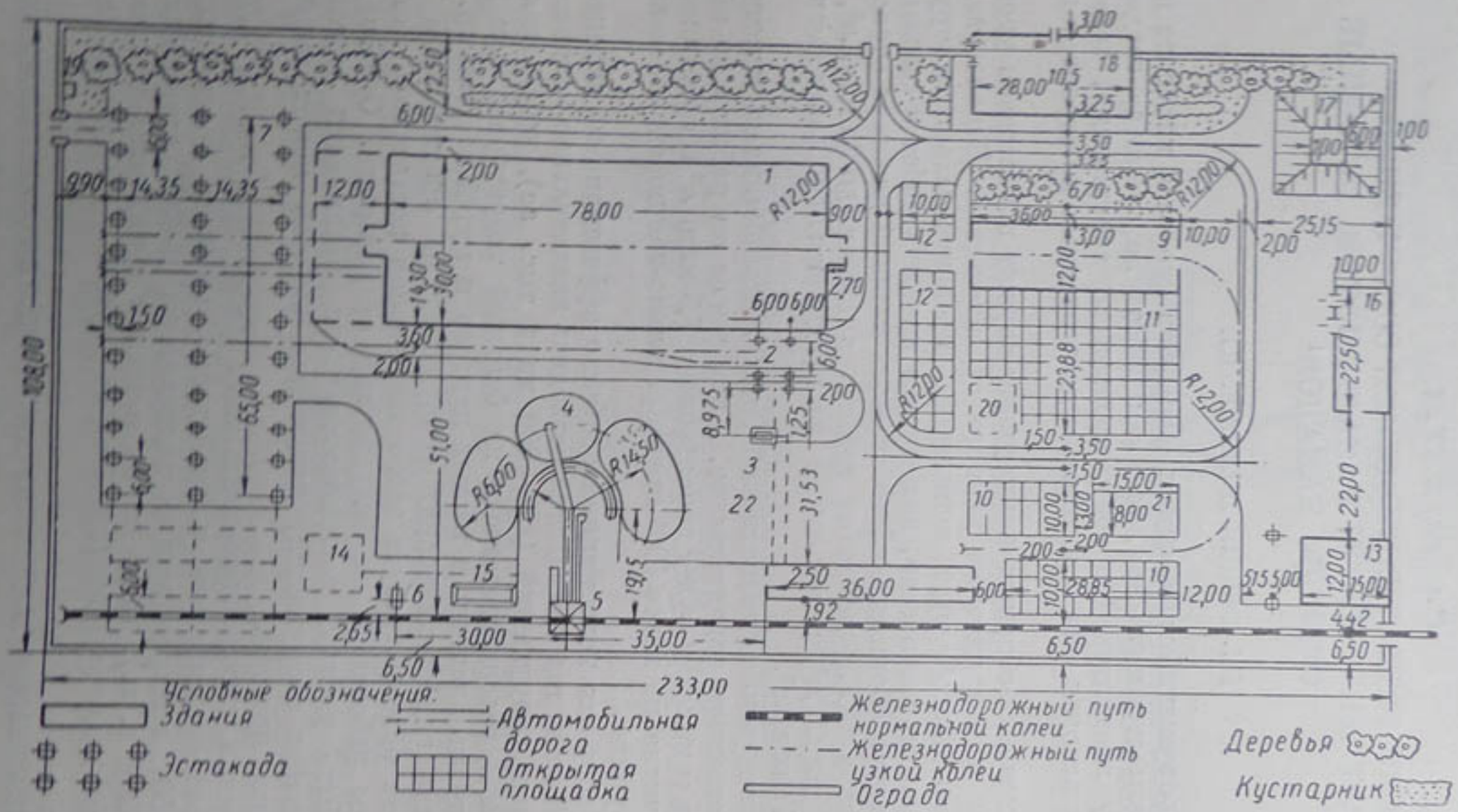


Рис. 311. Завод железобетонных изделий производительностью 10 тыс. $м^3$ в год:

1—главный корпус; *2*—бетоносмесительная установка; *3*—бункеры для хранения заполнителей; *4*—склад заполнителей; *5*—разгрузочное оборудование для заполнителей; *6*—маневренная лебедка; *7*—склад готовой продукции с площадкой для летнего изготовления изделий; *8*—склад цемента; *9*—арматурная мастерская; *10*—склад арматурной стали; *11*—открытая площадка для арматурных работ; *12*—склад арматуры (открытая площадка); *13*—материальный склад; *14*—котельная; *15* склад угля; *16*—гараж и механическая мастерская; *17*—склад бензина и смазочных; *18*—контора и проходная; *19*—контрольный пункт; *20*—трансформаторная подстанция; *21*—навес для катанки; *22*—траншея для шнека.

Полигоны для производства железобетонных изделий представляют собой стационарные или временные открытые площадки. Полигоны организуют для обслуживания небольших строек или отдельных строительных площадок. Здесь изготовляют преимущественно крупноразмерные элементы, транспортирование которых затруднительно. На временных полигонах для гидромелиоративного строительства изготовляют крупноразмерные плиты-оболочки, плиты для облицовки напорных откосов земляных плотин, блоки для бетонных плотин и другие изделия.

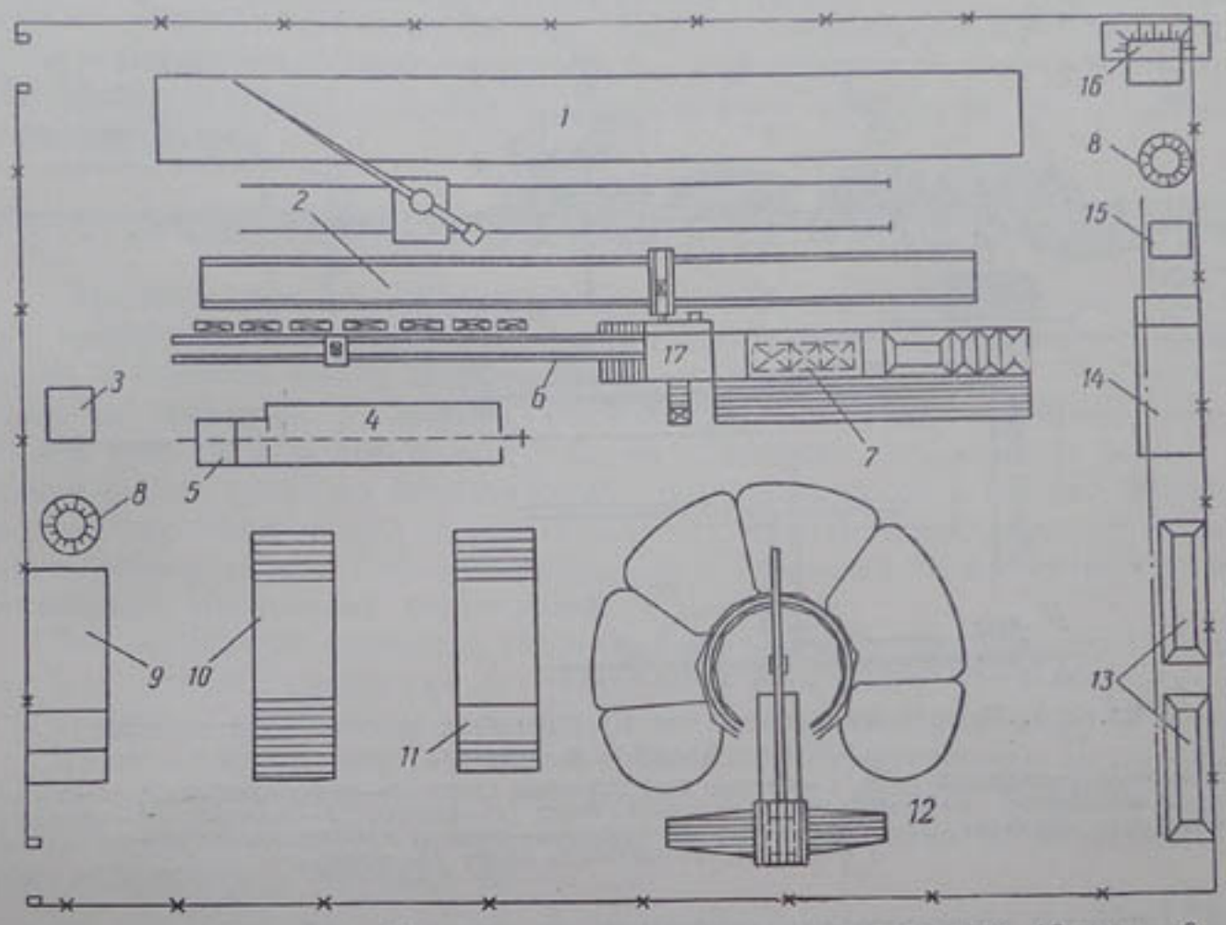


Рис. 312. Генеральный план полигона производительностью 10 тыс. $м^3$ изделий в год:

1—склад готовой продукции; *2*—стенд для формования и тепловой обработки железобетонных элементов; *3*—трансформаторная подстанция; *4*—навес для виброплощадки; *5*—наземные пропарочные камеры; *6*—установка для изготовления длинномерных изделий; *7*—склад цемента; *8*—пожарный водоем; *9*—административно-хозяйственные помещения; *10*—арматурная мастерская; *11*—опалубочная мастерская; *12*—склад заполнителей; *13*—склад угля; *14*—котельная; *15*—склад золы; *16* склад горюче-смазочных материалов; *17*—бетонорастворный узел.

На рисунке 312 показан генеральный план полигона[1] производительностью 10 тыс. $м^3$ изделий в год, с установкой для изготовления крупноразмерных конструкций, стенда для мелких изделий, с бетонорастворным узлом, арматурно-опалубочной мастерской, котельной, лабораторией и другими производственно-хозяйственными сооружениями и складами сборно-разборного типа.

В современных предприятиях применяются три основных технологических способа изготовления железобетонных изделий: стендовый, поточно-конвейерный и поточно-агрегатный. При стендовом способе применяются неподвижные формы; изделия остаются на месте формовки до приобретения бетоном штабелеровочной прочности, после чего их отправляют на склад. Все машины и агрегаты, с помощью которых изготовляются изделия, передвигаются вдоль стендов.

Производительность стенда зависит от длительности периода твердения изделий, поэтому для ускорения цикла работ и, следовательно, повышения производительности завода или полигона применяют различные меры,

[1] М. М. Ш в е й. Арматурные и бетонные работы. Госстройиздат, 1958.

способствующие сокращению периода твердения бетона: разбивку стенда (при большой протяженности) на отсеки с раздельной термообработкой изделий, применение жестких бетонных смесей, ускорителей твердения бетона, быстротвердеющих цементов и т. п.

При поточно-конвейерном способе изделия изготовляют в перемещаемых формах, которые последовательно передают на постоянные рабочие места, расположенные вдоль конвейера и оборудованные необходимыми механизмами. Перемещение форм производится в определенном

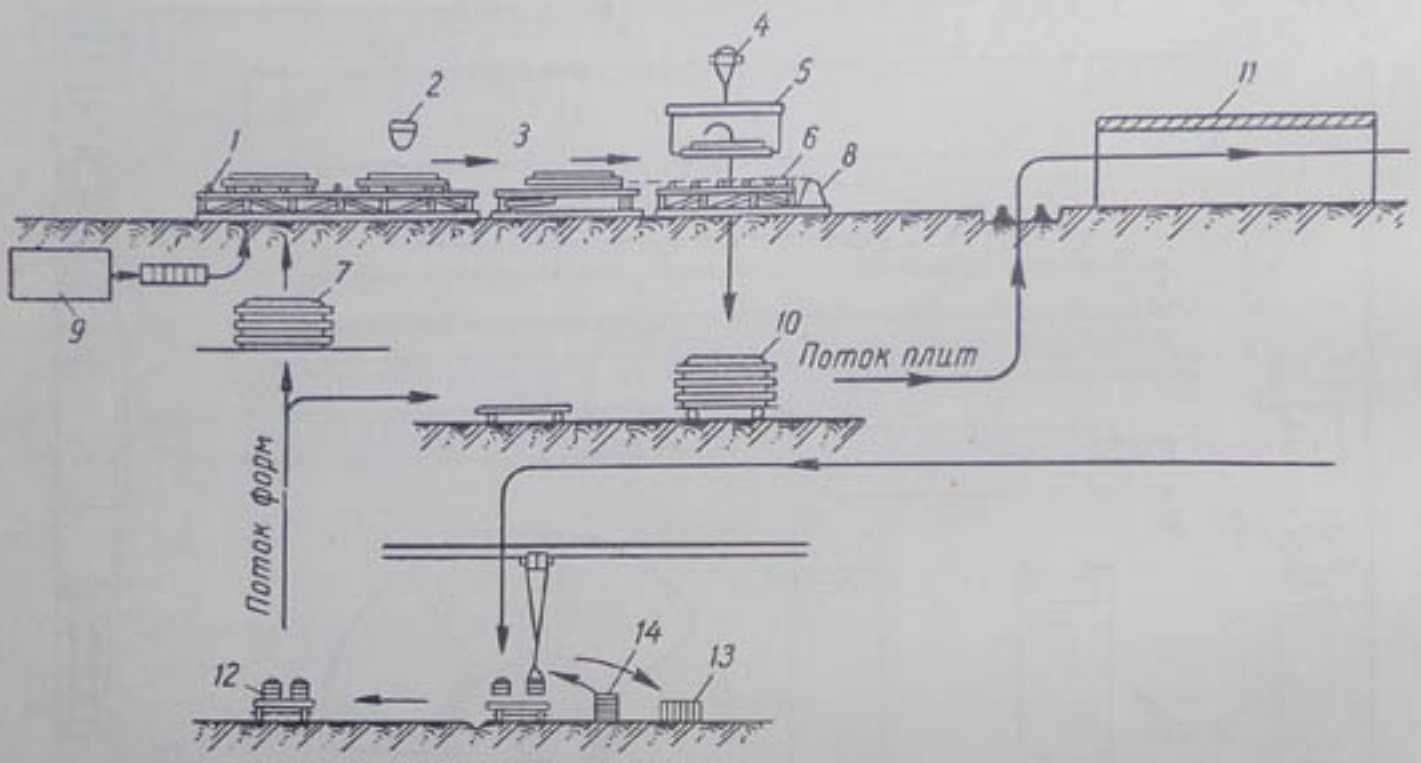


Рис. 313. Технологическая схема производства железобетонных плит с пропариванием в формах:

1—головной роликовый стол; *2*—бункер для бетонной смеси; *3*—виброплощадка; *4*—тельфер; *5*—траверса; *6*—концевой роликовый стол; *7*—формы; *8*—лебедка; *9*—штабель арматурных каркасов; *10*—вагонетка с плитами; *11*—камера пропаривания; *12*—вагонетка с формами; *13*—штабель плит; *14*—формы.

ритме, поэтому длительность операции на каждом рабочем месте должна быть, по возможности, одинаковой. Этот способ обычно применяется на крупных специализированных заводах с ограниченной номенклатурой изделий.

Поточно-агрегатный, или смешанный, способ отличается тем, что на отдельных участках производство организуется по принципу первых двух технологических схем, с преобладанием той или другой схемы. Смешанный способ обычно применяется при изготовлении разнородной продукции в специализированных пролетах завода с малым или средним объемом выпускаемой продукции (до 40 тыс. $м^3$).

На рисунке 313 показан один из пролетов завода по изготовлению поточно-агрегатным способом железобетонных плит без предварительного напряжения арматуры: очищенная и смазанная отработавшим маслом форма устанавливается на головном роликовом столе *1*; из штабеля *9* подается готовый арматурный каркас и укладывается в форму; затем форма перемещается под бункер *2* и заполняется бетоном, после чего передвигается на виброплощадку *3*, где происходит уплотнение бетонной смеси. Во время уплотнения в ребра плит, под арматурный каркас, закладываются петли, необходимые для захвата изделий при их распалубке. По окончании вибрирования поверхность плиты выравнивают и заглаживают, после чего форму с плитой передают на концевой роликовый стол *6*, с которого при помощи тельфера *4*, снабженного траверсой *5* с четырьмя захватами, форма перегружается на узкоколейную вагонетку (платформу) *12*. Формы с плитами, уложенные с деревянными прокладками на вагонетку, транспортируются в пропарочные камеры *11*. После пропаривания и остывания формы при помощи лебедки *8* выкатывают из камер пропаривания и отправляют

на склад. Здесь производится распалубка плит, после чего тельфер укладывает их на ребро в штабель *13*. Освобожденные от плит формы *14* очищают и на вагонетке *12* отправляют к головному роликовому столу *1* для заполнения.

В последнее время, в особенности при массовом изготовлении однотипных изделий, все шире применяются железобетонные конструкции с напряженной арматурой, которые по сравнению с обычным железобетоном отличаются меньшим весом, лучшей транспортабельностью, трещиноустойчивостью и водонепроницаемостью. Предварительно-напряженный железобетон в гидротехническом строительстве и некоторые особенности изготовления железобетонных изделий с напряженной арматурой рассматриваются в главе XXIV.

§ 3. ПРИЕМКА И ПЕРЕВОЗКА ЭЛЕМЕНТОВ СБОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Элементы (блоки) сборных конструкций, поступающие на строительную площадку с заводов и полигонов, должны иметь маркировку и паспорта. Перед монтажом блоки подвергаются наружному осмотру; в случае обнаружения дефектов (трещин, обнажения арматуры, крупных раковин, околов граней и углов и т. д.) блоки подлежат выбраковке. Кроме того, не менее 10% несущих конструкций (опоры акведуков и мостов, балки пролетного строения и др.) и 5% остальных конструкций должны быть проверены обмером, при этом обнаруженные отклонения от проектных размеров не должны превышать установленных допусков.

Вес отдельных элементов сборных гидротехнических сооружений колеблется в больших пределах—от 100 до 5000 *кг* и более. Для погрузки их на транспортные средства и последующей разгрузки применяются краны.

На монтажных работах используются преимущественно автомобильные краны, передвигающиеся со скоростью 30—35 *км/час*. Краткая характеристика таких кранов, применяемых на строительстве мелиоративных систем, приведена в таблице 48.

Таблица 48

Показатели	К-32	К-51; К-52	
		с нормальной стрелой	с удлиненной стрелой
Базовый автомобиль	ЗИЛ-150	МАЗ-200	
Длина стрелы в *м*	6,5	7,5	12,0
При работе на выносных опорах:			
наибольший вылет стрелы в *м*	5,5	6,5	9,0
грузоподъемность в *т*	0,7	2,0	1,0
наименьший вылет стрелы в *м*	2,5	3,8	4,5
грузоподъемность в *т*	3,0	5,0	3,0

Для монтажа более тяжелых блоков используют краны-экскаваторы на пневмоколесном или гусеничном ходу.

При перевозке, выгрузке и монтаже балок, опор (колонн), плит и других длинномерных конструкций их стропуют за петли или хомуты, заделанные в конструкции при изготовлении (рис. 314). При отсутствии петель и хомутов места строповки должны быть указаны на конструкциях, так как неправильное закрепление строп может вызвать в элементах усилия, превышающие расчетные.

Блоки к котлованам возводимых сооружений доставляются с прирельсового склада или непосредственно с завода либо полигона, если они расположены невдалеке от строительной площадки. В условиях мелиоративного строительства детали перевозят автомобилями, а при бездорожье—тракторными прицепами.

К транспортировке с заводов и полигонов допускаются только те партии железобетонных изделий, которые достигли не менее 70% проектной прочности. Элементы надо погружать в определенной последовательности, согласованной с порядком выгрузки изделий в местах их складирования или монтажа (у котлованов сооружений).

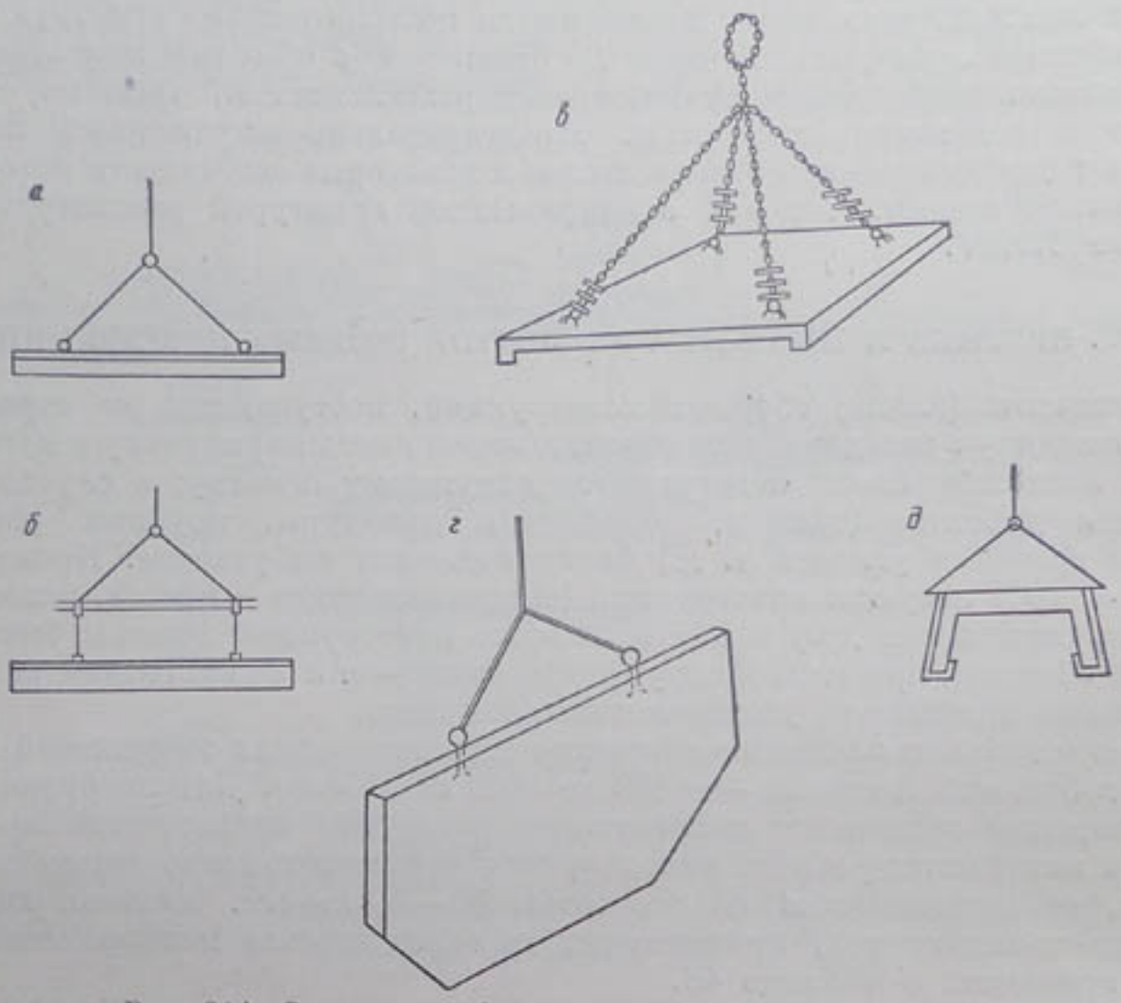


Рис. 314. Строповка сборных железобетонных блоков:
а—длинномерных изделий в двух точках; *б*—то же, с помощью траверсы; *в*—плит стропами с четырьмя ветвями; *г*—то же, с двумя ветвями; *д*—коробчатых изделий с помощью крюков.

§ 4. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ ПО ВОЗВЕДЕНИЮ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ СБОРНОЙ КОНСТРУКЦИИ[1]

При большом количестве сооружений сборной конструкции их возведение целесообразно организовать поточным методом по группам однотипных сооружений на основе календарных графиков последовательного выполнения всех строительно-монтажных работ. При включении в поток сооружений различных типов графики работ должны составляться с учетом обеспечения, по возможности, постоянства состава бригад (звеньев) и комплектов машин и минимальных затрат времени на переходы машин и бригад с одного объекта на другой.

Для предварительных расчетов при выполнении работ комплексными бригадами можно руководствоваться указанным ниже соотношением затрат труда (в процентах) бригад на основные операции при возведении сборных гидротехнических сооружений на оросительной сети:

разработка котлована	12
подготовка основания	6
монтаж блоков	19
заделка стыков и швов	18

[1] Министерство сельского хозяйства СССР, Гипроводхоз. Временные технические указания по возведению гидротехнических сооружений сборной конструкции на оросительных системах. 1957.

монтаж затворов и подъемников	3
обратная засыпка котлована и отсыпка дамб	17
планировка и отделка насыпей	5
крепление сопрягаемых участков плитами или камнем	20
Итого	100

Все строительно-монтажные операции по возведению сооружений выполняются в следующем порядке: а) разбивка на месте котлована; б) рытье котлована; в) доставка конструкций и материалов к котловану сооружения; г) подготовка основания и устройство фильтров; д) монтаж конструкций;

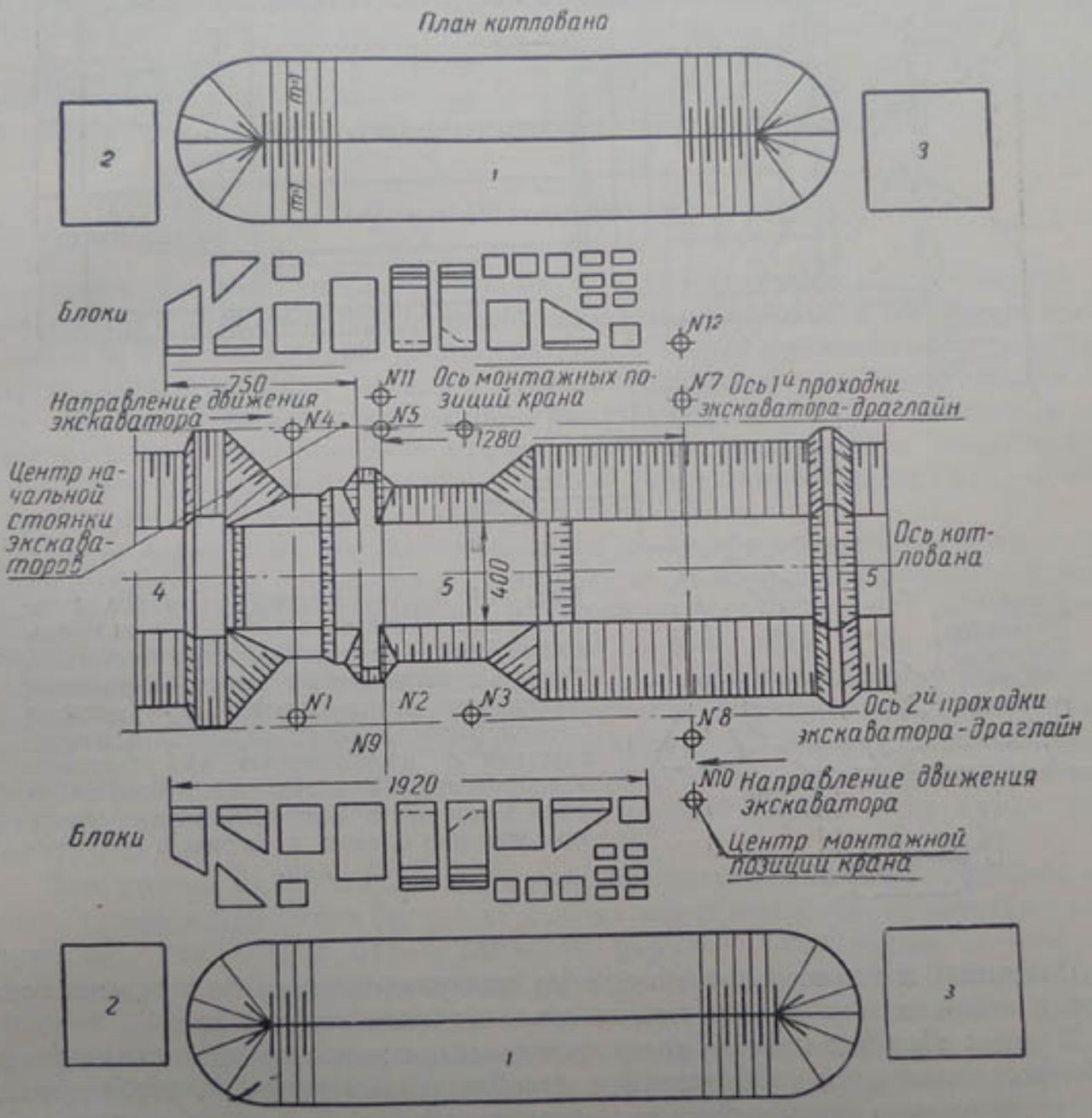


Рис. 315. План строительной площадки типового железобетонного открытого регулятора сборной конструкции, рассчитанного на расходы 3,2—10,75 $м^3/сек$:
1—временный кавальер; *2*—площадка для гравия; *3*—площадка для гравия и песка; *4*—канал; *5*—котлован регулятора.

е) заделка стыков и швов; ж) монтаж металлических конструкций, затворов и подъемников; з) обратная засыпка, заделка пазух, устройство дамб и фильтров в откосах; и) устройство креплений на сопрягающих участках канала.

Работы по разбивке котлованов сооружений, их рытье, а также доставка конструкций и строительных материалов к котлованам могут быть выделены из комплекса работ и выполняться раздельно с необходимым опере-

жением. Работы по заделке швов и монтажу металлических конструкций можно вести одновременно.

Разбивка сооружений производится на основе рабочих чертежей, при этом разбивочными знаками фиксируются: оси и контуры котлована и сооружения, места расположения временных кавальеров грунта, сборных элементов (блоков) сооружения, строительных материалов и деталей, а также позиции монтажного крана, направления движения строительных машин и места расположения вспомогательного оборудования (рис. 315).

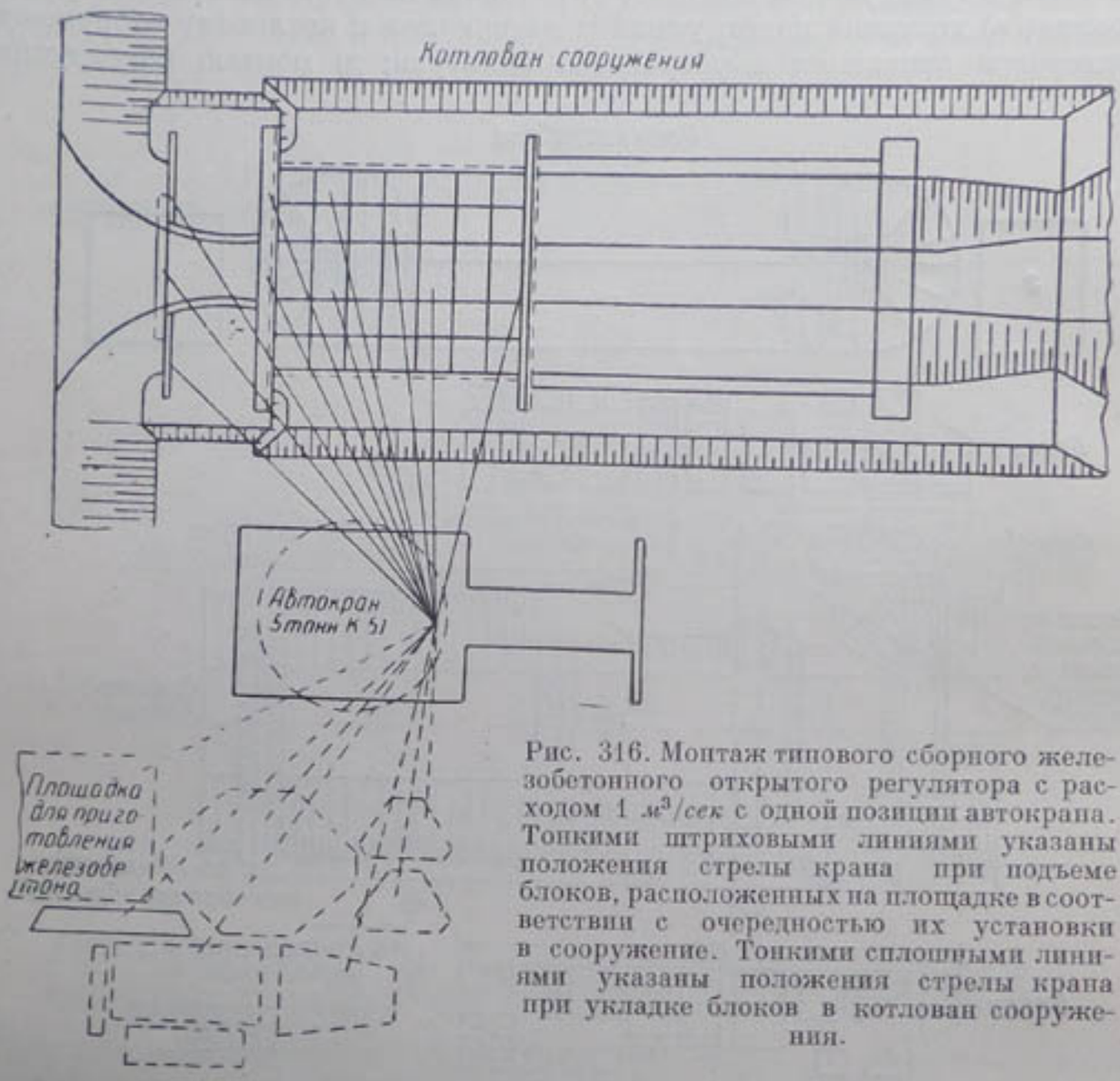


Рис. 316. Монтаж типового сборного железобетонного открытого регулятора с расходом 1 $м^3/сек$ с одной позиции автокрана. Тонкими штриховыми линиями указаны положения стрелы крана при подъеме блоков, расположенных на площадке в соответствии с очередностью их установки в сооружение. Тонкими сплошными линиями указаны положения стрелы крана при укладке блоков в котлован сооружения.

Плановые и высотные разбивочные знаки выносятся за пределы зоны работ и сохраняются до окончания строительства сооружения.

Монтаж сборных конструкций производится после освидетельствования и приемки основания сооружений и с соблюдением условий, обеспечивающих устойчивость и неизменность смонтированной части сооружения на всех стадиях монтажа, а также с соблюдением условий безопасности монтажных и других работ по возведению сооружения.

Чтобы обеспечить наибольшую производительность основной машины—крана, необходимо размещать элементы (блоки) и материалы у котлована таким образом, чтобы кран мог беспрепятственно взять каждый блок или материал и подать его в монтируемое сооружение с наименьшей затратой времени на перемещение крана и с минимальной траекторией перемещения блоков.

При возведении небольших сооружений необходимо организовать работу по монтажу блоков, по возможности, с одной позиции крана (рис. 316), что обеспечит наибольшую его производительность.

Соединение (стыкование) элементов сборных гидротехнических соору-

жений, в зависимости от назначения стыков, производится путем заполнения полости стыка бетонной смесью или раствором. Выпуски арматуры или закладных частей сваривают, а затем замоноличивают стык, заделывая его бетоном или раствором.

Стыки и заливку швов смонтированных сборных железобетонных сооружений следует заделывать механизированным способом; для этого в качестве оборудования применяют растворонасосы (С-251, С-263) или нагнетатели (КР-НМ). Растворонасосы применяют при заделке стыков и швов раствором, а нагнетатели—при заделке их как раствором, так и бетонной смесью. Стык или шов ограждается и в ограждение по шлангам подается раствор или бетонная смесь под давлением сжатого воздуха, получаемого от компрессора (0—38 или 0—39), производительностью 0,25—0,50 *м*³/*мин*. При монтаже сооружений в зимнее время необходимо выдерживать бетонную смесь или раствор с прогревом, который осуществляют химическими грелками (кристаллизационными и коррозионными грелками НИИОМС), электрическими печами сопротивления и другими способами.

§ 5. КАНАЛЫ-ЛОТКИ[1]

Одной из разновидностей сборных гидротехнических сооружений на оросительных системах являются каналы-лотки, которые в последнее время у нас и за границей рассматриваются как наиболее рациональная конструкция распределительных каналов, составляющих около 70% протяженности всей сети каналов оросительных систем. Применение каналов-лотков позволяет сберечь около 85—95% воды. Напомним, что каналы, проложенные в земляном русле, теряют на фильтрацию через дно и откосы от 40 до 50% воды, забираемой в оросительные системы.

Каналы-лотки из сборных элементов не имеют продольных швов; если лотки уложены на опоры, их строительство не зависит от грунтовых условий; лотки занимают командное положение над орошаемой территорией; надзор за состоянием лотков и поперечных швов достаточно прост.

Обычно применяются лотки полукруглой или параболической формы, как гидравлически наивыгоднейшей. Наибольшее распространение в нашей стране и за рубежом получили лотки полукруглой формы, так как изготовление их на специализированных заводах может выполняться методом центрифугирования, что невозможно при других формах поперечного сечения лотков.

Для лотков параболической формы по сравнению с полукруглыми требуется наименьший объем бетона на 1 *м*² площади поперечного сечения лотка. Например, для лотков параболической формы с поперечным сечением от 0,148 до 0,454 *м*² объем бетона на 1 *м*² площади поперечного сечения составляет от 0,296 до 0,11 *м*³, тогда как в лотках полукруглого сечения при той же толщине стенок объем бетона равен от 0,306 до 0,133 *м*³.

Лотки, укладываемые в траншею, изготовляют раструбными (рис. 317) или укладывают на пояса, представляющие собой низкую опору, на которой стыкуются торцы лотков (рис. 318).

Поперечные размеры и длина лотков весьма различны. Так, например, типовые проекты лотков из железобетона без предварительного напряжения, полукруглой формы, разработанные в Грузинской ССР, имеют диаметры от 0,6 до 1,5 *м* при толщине 6 *см* и длине звена 4 *м*.

Гипроводхоз сконструировал лотки параболической формы высотой 0,4; 0,6 и 0,8 *м*, шириной по верху 0,8; 0,98 и 1,13 *м*, с толщиной стенок 5 и 6 *см* и пропускной способностью 0,252; 0,625 и 1,16 *м*³/*сек*; длина лотков из обычного железобетона 6 *м* и из предварительно-напряженного—8 *м*

---

[1] Р. М. Шварц. Применение бетона в борьбе с фильтрацией из оросительных каналов. МСХ СССР—Гипроводхоз, 1959.

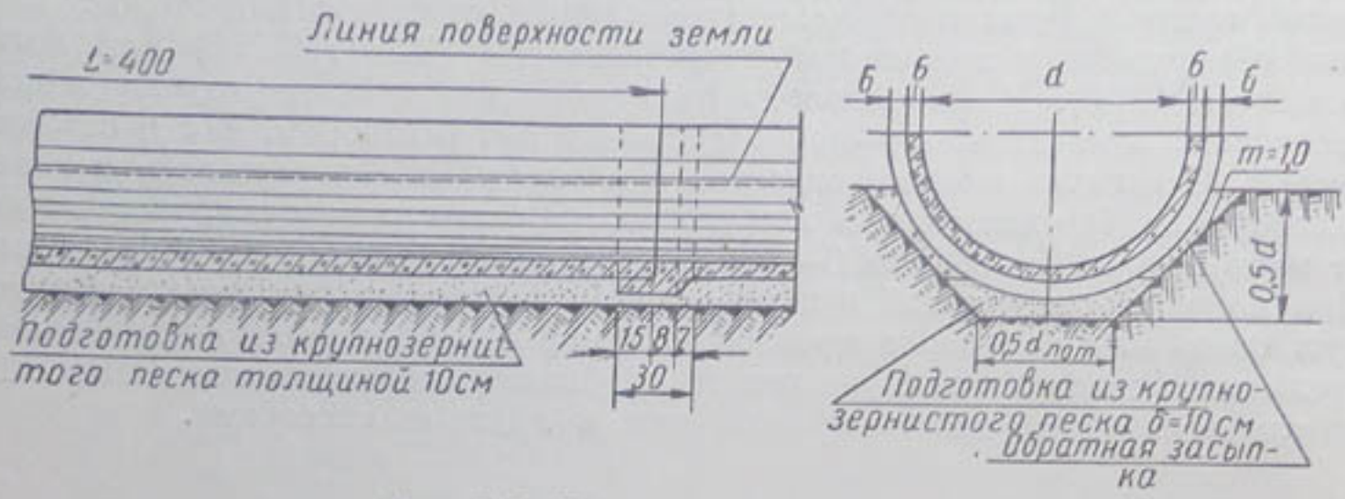


Рис. 317. Лоток раструбного типа.

Рис. 318. Низкие опоры (маяки) для лотков.

(рис. 319). Этим же институтом сконструированы крупноразмерные лотки параболического сечения высотой 1; 1,2 и 1,8 *м*, длиной 8 *м* и сечением 1,6 и 1,8 *м* при длине 6 *м*; пропускная способность этих лотков от 1,5 до 5 $м^3/сек$.

В Италии каналы-лотки выполняются преимущественно из предварительно-напряженного железобетона полукруглой и параболической форм. Трапецеидальные лотки длиной 5—7 *м* изготовляются из тонкой плиты, в которой делают два надреза; после затвердения плиту укладывают на специальные опоры и по линии надрезов отгибают необходимое заложение откосов; после отформовки надрезы заполняют цементной мастикой. Длина лотков параболической формы 5 *м*, ширина по верху от 0,5 до 1,5 *м*, толщина от 4 до 9,5 *см*, высота от 0,35 до 0,75 *м*; вес таких лотков от 0,5 до 2,5 *т*.

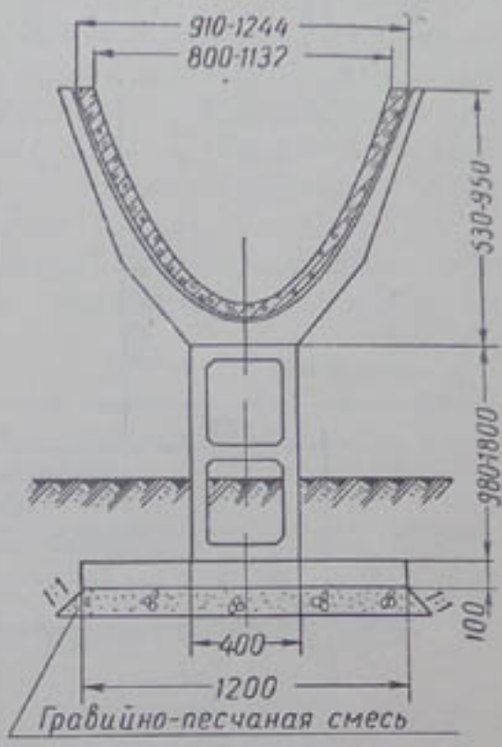


Рис. 319. Лоток параболического сечения на опоре.

Каналы-лотки полукруглой формы получили широкое применение в Марокко, где они выполняются диаметром от 0,5 до 1,85 *м* с толщиной стенок от 3,7 до 7,6 *см* и длиной 6,8 *м*.

Все основные работы по устройству каналов-лотков могут быть механизированы. При укладке лотков в траншею поверхность трассы канала выравнивается и планируется под проектный уклон бульдозерами или скреперами; для копания траншей применяют канавокопатели; приямки в местах установки седел под стыками секций выштамповываются специальным профильным штампом на базе трубоукладчика ТЛ-4. Седла, а затем лотки укладывают на место автокранами. Последующая засыпка пазух и планировка насыпей выполняется универсальным бульдозером. Вручную выполняются только работы по песчаной подсыпке под седла (рис. 317) и заделке швов при стыковании звеньев лотков.

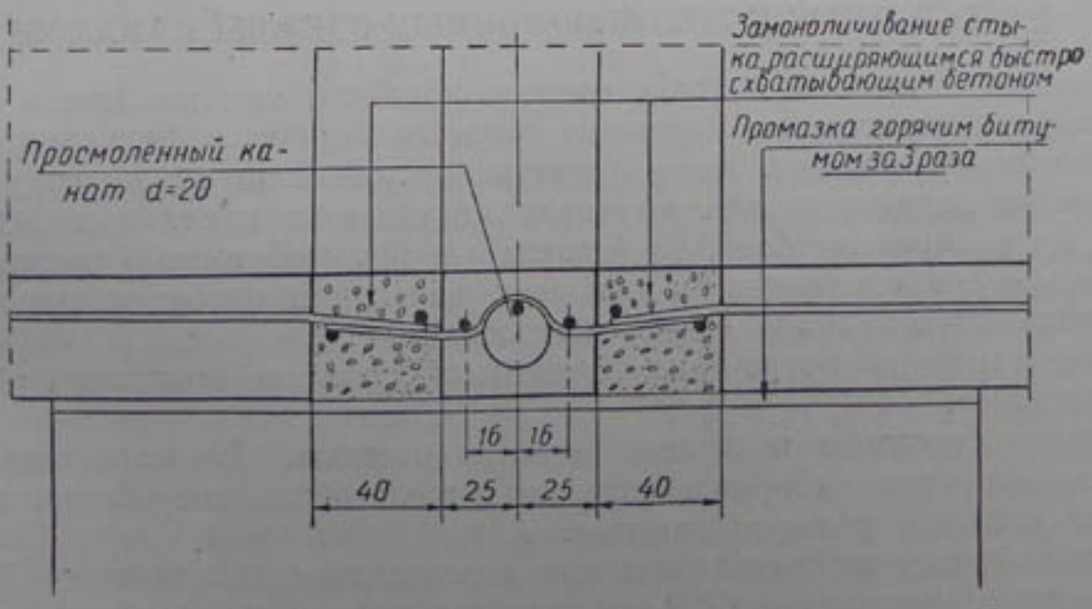


Рис. 320. Шов «индустриального» типа для лотков.

Работы по устройству швов должны выполняться под постоянным контролем, так как только тщательное выполнение их может гарантировать водонепроницаемость стыков. С этой точки зрения заслуживает внимания предложение проектной организации Азгипроводхоз об устройстве так называемого «индустриального» шва, изготовляемого в заводских усло-

виях (рис. 320). Этот шов является самостоятельным элементом сборного канала-лотка и устанавливается через каждые 12 *м*; все промежуточные швы при этом замоноличиваются.

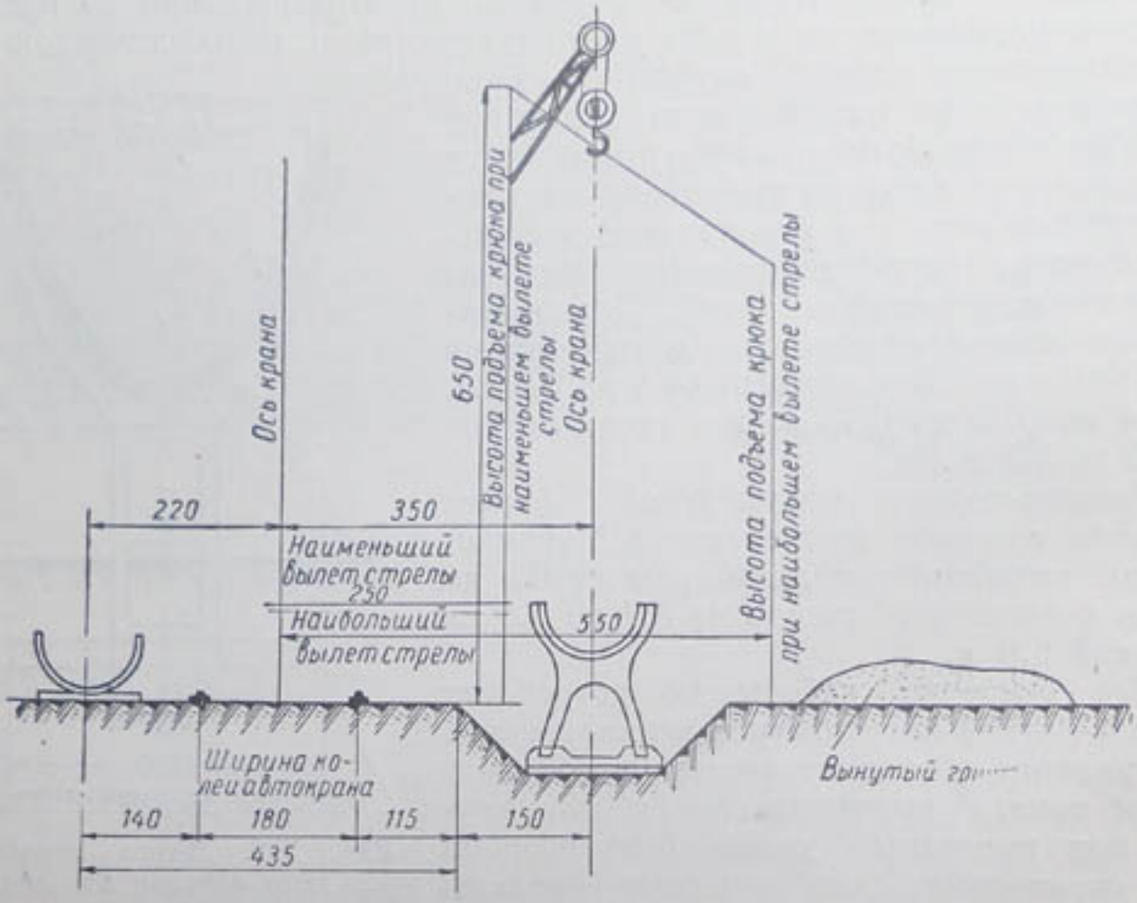


Рис. 321. Монтаж лотков краном.

При укладке лотков на опоры (рис. 321) рытье котлована выполняется универсальным экскаватором Э-157. Чтобы исключить ручные доделки котлована и повысить несущую способность грунта под опорой, производят штампование котлована указанным выше способом.

§ 6. БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ОДЕЖДЫ КАНАЛОВ[1]

Бетонная и железобетонная одежда каналов, так же как и каналы-лотки, хотя и дорогое, но надежное средство борьбы с фильтрацией воды из оросительных каналов. Если применение лотков по их конструктивным особенностям допустимо для внутрихозяйственных каналов и небольших по расходу распределителей, то бетонные и железобетонные одежды могут применяться без ограничения для всех категорий оросительных каналов и деривационных каналов гидроэлектростанций.

Одежды каналов могут быть бетонными и железобетонными, сборными и монолитными.

Сборные бетонные и железобетонные одежды. В последнее время в СССР и за рубежом сборные бетонные и железобетонные облицовки получают все большее распространение.

Головной участок магистрального канала насосной станции Головная Акуша в Азербайджанской ССР облицован сборными железобетонными плитами 1 × 0,5 × 0,08 *м*; облицовка выполнена в 1947 г., работает хорошо и каких-либо нарушений конструкции не наблюдалось.

Для облицовки канала Северный Донец—Донбасс наряду с монолитной облицовкой применены железобетонные плиты размером 3 × 3 × 0,08 и 3 ×

---

[1] Р. М. Шварц. Применение бетона в борьбе с фильтрацией из оросительных каналов. МСХ СССР—Гипроводхоз, 1959.

$\times 4 \times 0{,}08$ *м*, изготовлявшиеся на полигонах строительства и в заводских условиях.

На Верхне-Дальверзинском канале с расходом 28 *м*³/*сек*, шириной по дну 6 *м* и глубиной от 2,9 до 3,5 *м* левый откос канала, проходящий в насыпи, облицован плитами размером $3 \times 1{,}7$ и $1{,}6 \times 0{,}12$ *м* с расходом арматуры 8 *кг*/*м*².

Лабораторные и полевые исследования Среднеазиатского научно-исследовательского института ирригации (САНИИРИ) показали возможность облегчения конструкции плит и снижения их стоимости; в частности, для облицовки Верхне-Дальверзинского канала были запроектированы плиты площадью 8 *м*² вместо 5 *м*², толщиной 0,08 *м* вместо 0,12 *м*, с расходом арматуры 2,15 *кг*/*м*² вместо 8 *кг*/*м*². Такие плиты получили применение и на строительстве машинного канала М-2 в Голодной степи.

В таблице 49 приведены технико-экономические показатели производства облицовочных плит, сконструированных различными проектными и научно-исследовательскими организациями.

Таблица 49

Тип плиты	Размеры плит в *м*			Вес плиты в *кг*	Расход материалов на 1 *м*² плиты и длина швов		
	длина	ширина	толщина		бетон в *м*³	арматура в *кг*	швы в пог. *м*
Железобетонная ненапряженная:							
Гипроводхоз	4,0	3,0	0,05	1500	0,05	3,37	1,92
»	3,5	3,0	0,05	1310	0,05	3,54	1,23
»	3,0	2,0	0,05	750	0,05	1,88	1,67
Гидропроект	3,0	3,0	0,08	1750	0,08	6,45	1,33
САНИИРИ	4,0	2,0	0,08	1600	0,08	2,16	1,50
Средазгипроводхлопок	4,0	2,0	0,08	1600	0,08	3,64	1,50
»	3,0	2,0	0,08	1200	0,08	3,44	1,67
»	5,0	2,6	0,08	2600	0,08	3,75	1,17
Железобетонная предварительно-напряженная:							
Гипроводхоз	4,0	3,0	0,045	1350	0,045	1,56	1,17
»	3,5	3,0	0,045	1180	0,045	1,66	1,23
»	3,0	2,0	0,045	680	0,045	0,80	1,67
Бетонная:							
САНИИРИ	2,25	2,25	0,08	900	0,08	0,40	1,78
»	1,5	1,5	0,08	400	0,08	0,49	2,67

В Италии в последнее время начали применять для облицовки оросительных каналов тонкие плиты-маты из предварительно-напряженного железобетона. Длина плит 30 *м*, ширина 0,5—1,5 *м*, толщина 3 *см*; они армированы проволокой диаметром 3—4 *мм* и тонкой распределительной сеткой. Плиты, благодаря гибкости, могут быть свернуты без повреждения при радиусе кривизны до 3,5 *м*. Плитами-матами в Равенне облицован канал трапецеидального сечения шириной по верху 6,6 *м*. Плиты были изготовлены длиной, равной длине периметра поперечного сечения канала с припусками для образования отгибов в двух местах, соответствующих линиям сопряжения дна с откосами. Отгиб плиты делался с помощью надреза, который образует продольный шов, заполняемый впоследствии быстротвердеющим цементным раствором. Под швами плит заранее были уложены маяки-балки из предварительно-напряженного железобетона, которые препятствовали вытеканию раствора и связывали между собой плиты.

В Тунисе на участках канала Толльервилль, проложенных в пучинистых грунтах, облицовка в виде опыта сделана из малых бетонных плит размером $0{,}5 \times 0{,}25 \times 0{,}06$ *м*. На боковых гранях плит имеются полукруглые пазы, которые образуют сквозной зазор (шов) по линии примыкания плит

друг к другу. В эти зазоры, через 50 *см* в обоих направлениях, уложен арматурный стержень диаметром 5 *мм*; сверху зазор заполнен битумной мастикой. Преимущество облицовки из малых плит заключается в ее гибкости и трещиноустойчивости, однако необходимость использования для укладки плит ручного труда исключает возможность применения такой облицовки в наших условиях.

Сборными плитами облицовывают каналы трапецеидальной и треугольной формы. Так, например, внутрихозяйственные распределители с расходами от 1,8 до 0,75 $м^3/сек$ первого Верхне-Дальверзинского машинного канала имеют треугольное сечение с заложением откосов 1 : 1,25, облицованы железобетонными плитами, опирающимися на железобетонные балки (рис. 322).

Рис. 322. Облицовка канала треугольного сечения сборными железобетонными плитами.

Плиты-маты, подобные примененным на канале в Равенне, можно использовать для облицовки каналов криволинейного поперечного сечения, например параболического.

Важной деталью бетонных и железобетонных облицовок каналов являются продольные и поперечные швы, образующиеся при стыковании плит, поэтому конструкции таких швов и качеству их выполнения уделяется большое внимание.

Форма шва и его размеры должны обеспечивать возможность беспрепятственного расширения и сжатия плит облицовки под воздействием усадки и температурных изменений. Шов должен быть водонепроницаемым, простым по конструкции и доступным для осмотра и ремонта.

Зазор, образуемый между соседними плитами сборной облицовки, заполняют водонепроницаемыми материалами. Для заполнения швов обычно применяются битумные составы, которые заполняют и уплотняют зазоры и образуют в нем промежуточный слой, создающий возможность расширения и сжатия бетона облицовки.

В последнее время за границей, а затем и в нашей стране начали применять резиновые уплотнения швов в гидротехнических сооружениях. Гидропроект предложил конструкцию шва с резиновым уплотнением для монолитной и сборной облицовки канала северный Донец—Донбасс (рис. 323). Плиты с четвертями шириной 7,5 *см* укладывались с зазором не более 2 *см*. Образованное четвертями пространство очищалось металлическими щетками и промывалось, после чего на шов наклеивалась полоса листовой ре-

зины толщиной 2 *мм*. Для этого применялся клей № 88. На резину укладывалась тканая металлическая сетка (ячейка 1 × 1 *см*, диаметр 0,5 *мм*), далее шов заделывался цементным раствором заподлицо с поверхностью плит.

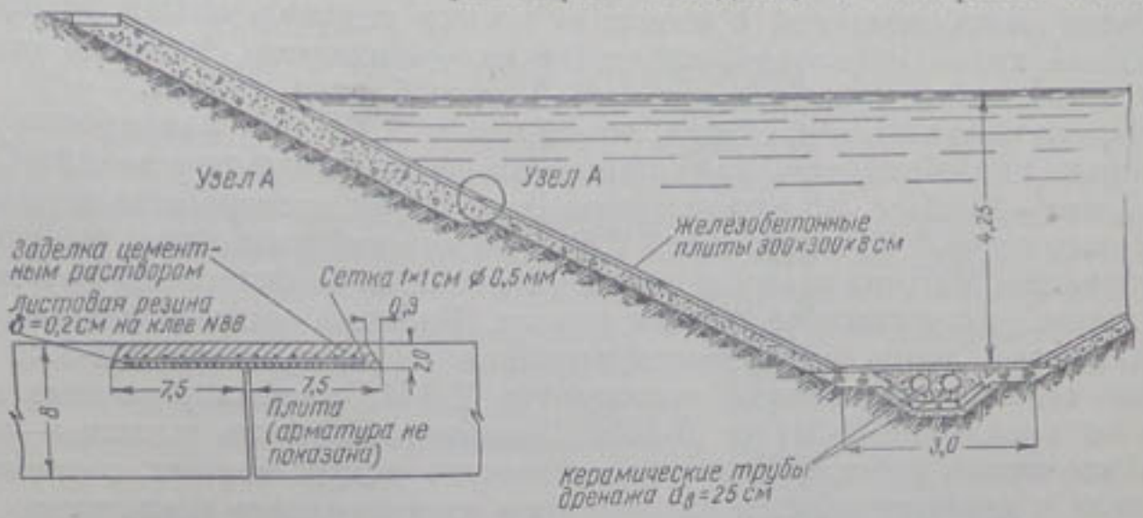


Рис. 323. Швы сборной облицовки из железобетонных плит на канале Северный Донец—Донбасс.

Проверка состояния швов показала, что на участках, где работы производились в холодное время и дождливую погоду, резина не приклеилась к бетону и швы в этих местах оказались водопроницаемыми. Поэтому для надежности швов подобной конструкции резину надо наклеивать на сухую бетонную поверхность.

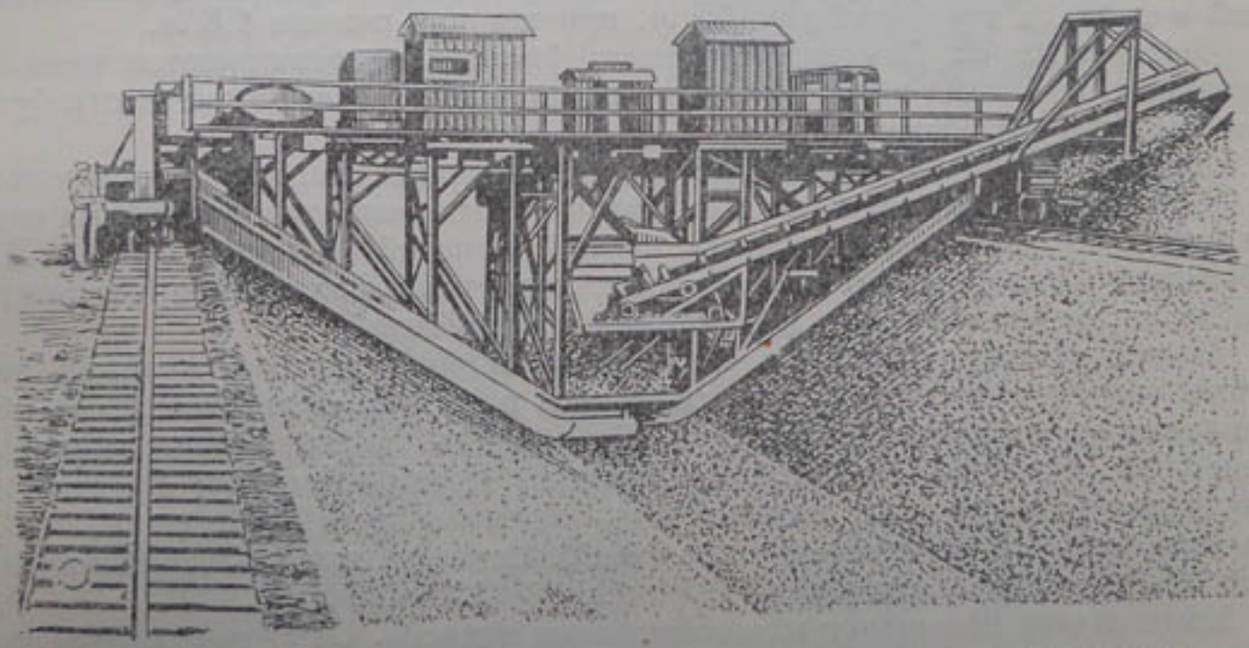


Рис. 324. Планировочная машина на строительстве каналов Бени-Мусса (Марокко).

Основные работы по облицовке каналов сборными бетонными и железобетонными плитами заключаются в подготовке основания под плитами, укладке их на дно и откосы канала и в устройстве поперечных и продольных швов. Все эти работы, за исключением устройства швов, могут быть механизированы.

Работы по подготовке оснований обычно выполняются дорожно-строительными машинами. Для планировки откосов, в зависимости от параметров канала, используются планировочные многоковшовые экскаваторы поперечного копания (ЭМ-302 и ЭМ-182), бульдозеры и грейдеры с выносным ножом или на гибкой тяге к трактору С-80.

На строительстве каналов Бени-Мусса в Марокко для планировки откосов под облицовку применялась специальная машина (рис. 324). Рабочий орган этой машины представляет собой две ковшовые цепи многоковшо-

вого экскаватора; каждая цепь приводится в движение от дизеля мощностью 120 *квт*; машина двигается по рельсовому пути со скоростью около 1,5 *м/мин*, срезая слой грунта толщиной 15—25 *см*. Перекладка рельсового пути производится самой машиной с помощью восьми гидравлических домкратов. Срезанный грунт из ковшей поступает на транспортер, который ссыпает его в автомашины, двигающиеся в 4—5 *м* от бровки канала.

Первая специальная машина, созданная в СССР для планировки откосов канала под облицовку, была применена на строительстве канала Северный Донец—Донбасс. Машина представляет собой пространственную сварную ферму длиной 33 *м*, шириной 7,5 *м*, на которой размещено все рабочее оборудование. Машина электротягой передвигается со скоростью до 5 *м/мин* по рельсам, уложенным по бермам канала. Рабочим органом машины служат ковшовые линии поперечного черпания от экскаватора ЭМ-302. Для отвалки грунта использован транспортер Т-144; профилировочные ножи взяты от грейдеров Д-241 и Д-265. Производительность машины—около 100 $м^3$/*час* чистой работы. Большое количество искусственных сооружений на канале и необходимость в связи с этим многократного и сложного монтажа и демонтажа машины ограничивают ее применение.

Отсыпка «шубы» и материалов обратного фильтра производится, в зависимости от размеров канала и заложения откосов, одноковшовыми экскаваторами с крановым или грейферным оборудованием, а также автосамосвалами, передвигающимися по откосам канала.

Для крупных каналов глубиной более 6 *м* может быть использована машина конструкции Любельского и Вершинина (Куйбышевгидрострой), которая при движении может перекрыть откос длиной до 26 *м*, укладывать слой материала толщиной до 0,75 *м*, при ширине полосы 1,8 *м*.

Материалы «шубы» или обратного фильтра разравниваются теми же машинами, которыми выполняется и планировка откосов, в частности бульдозерами и грейдерами.

Для уплотнения сплошной отсыпки применяют гладкие моторные катки (Д-83А и др.) или передвижные дизель-молоты, смонтированные на стрелах экскаваторов, оборудованных прямой лопатой (машины С-325). При небольших объемах работ и устройстве ленточных фильтров применяются трамбовки, пневматические или взрывного действия.

Плиты устанавливаются в сборную облицовку каналов кранами различной конструкции, в зависимости от веса плит и наличия кранового оборудования на стройке. На рисунке 325 показана укладка плит козловым краном на строительстве канала Северный Донец—Донбасс; на том же канале для укладки плит применялись башенные краны. На рисунке 326 показана укладка плит автокраном на облицовке каналов Ходжабакирганской оросительной системы в Таджикской ССР.

Монолитные бетонные и железобетонные одежды. Опыт ирригационного и гидротехнического строительства в США, Индии, Пакистане, Испании и других странах показывает, что для крупных каналов чаще применяется монолитная бетонная или железобетонная облицовка, нежели сборная. В монолитной облицовке крупных каналов получается меньшее количество швов, которые являются слабым в фильтрационном отношении местом. Стоимость монолитной облицовки ниже, чем сборной.

В зависимости от грунтовых условий применяются различные конструкции монолитных облицовок. При строительстве косогорных участков Таллинского магистрального канала в Армянской ССР, проходящего в сильно фильтрующих и суффозионно неустойчивых грунтах, применена трехслойная облицовка: нижний слой—бетон 15 *см*, средний слой—битумная мастика 2 *см* и верхний—бетон 10 *см*; в местах ожидаемых оползней и осыпей облицовка армирована.

В аналогичных грунтовых и геологических условиях магистральный канал Самгорской оросительной системы в Грузинской ССР имеет двуслойную облицовку: нижний слой—бетон 8 *см*, уложенный на гравийную

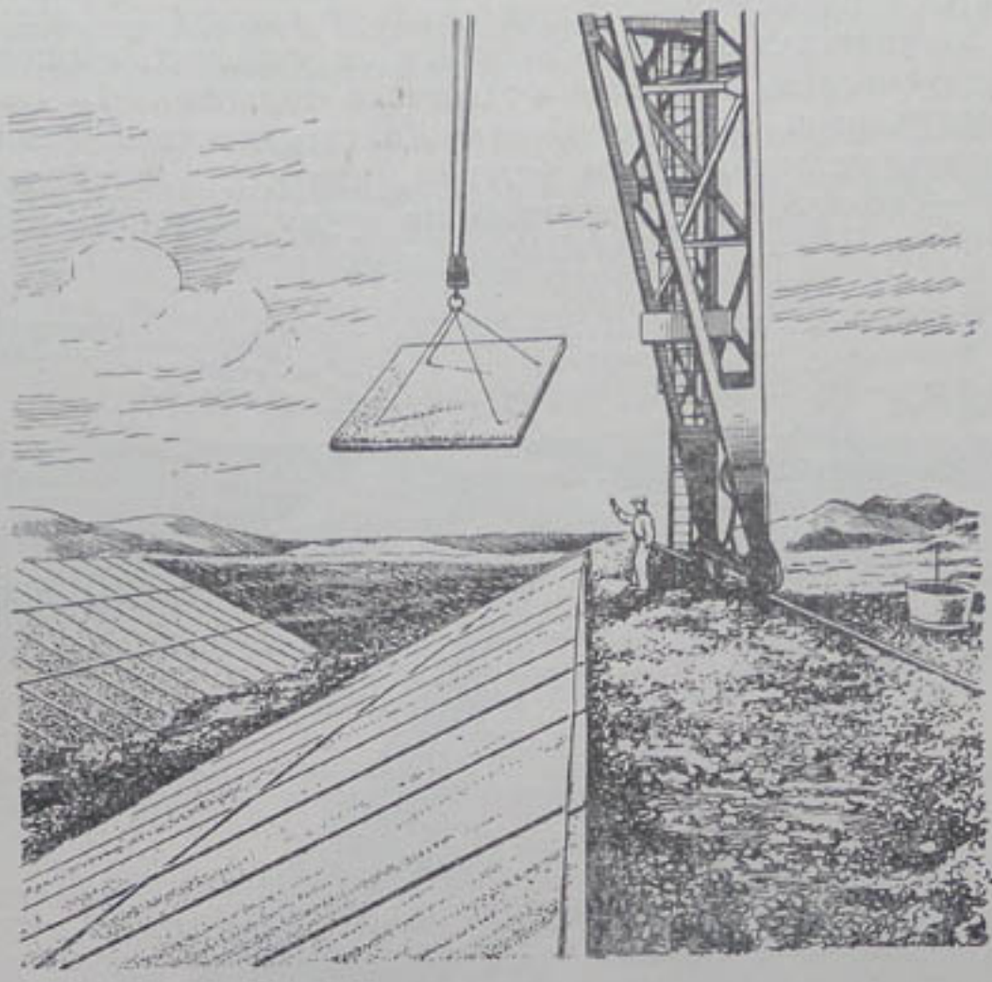


Рис. 325. Укладка плит козловым краном на строительстве канала Северный Донец—Донбасс.

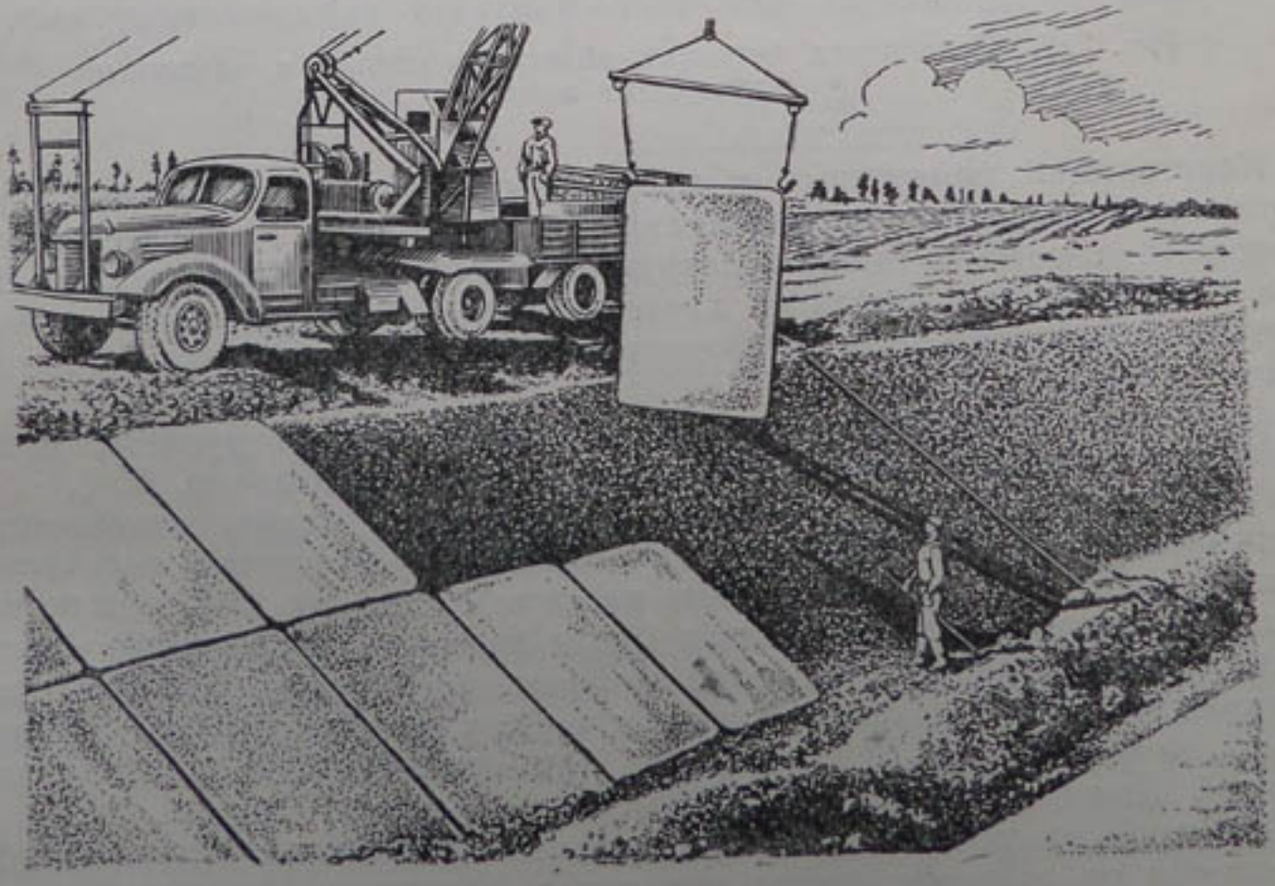


Рис. 326. Укладка плит автокраном на облицовке каналов Ходжабакирганской оросительной системы в Таджикской ССР.

подготовку толщиной 20 *см*, и верхний слой—бетон 10 *см*; имеется дренаж.

Магистральный канал Апшеронской оросительной системы в Азербайджанской ССР имеет однослойную бетонную одежду 12 *см* и армированную одежду на участках канала в насыпях; на участках, проходящих в суглинках, предусмотрена песчаная подготовка толщиной 15 *см*.

Головные участки первого Верхне-Дальверзинского машинного канала, облицованные монолитным бетоном, имеют трехслойное покрытие; нижний слой—бетон 5 *см*, уложенный на грунт, средний—асфальт 2 *см* и верхний—бетон 7 *см*.

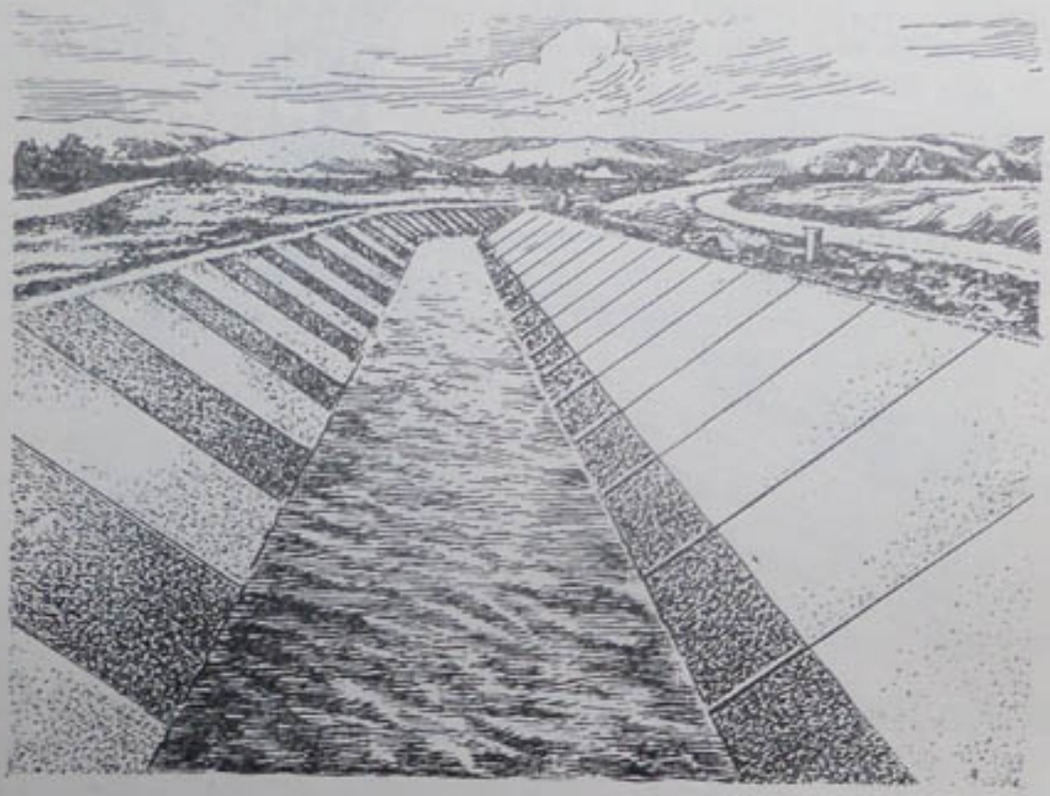


Рис. 327. Монолитная бетонная облицовка канала с «ложными» усадочными швами.

Конструкция поперечных и продольных швов в монолитной одежде и расстояние между швами принимаются в зависимости от грунтовых и геологических условий, а также конструкции облицовки; швы делаются сквозными с заполнением упругими пластичными материалами или «ложные»; последние нарезаются в свежеуложенном бетоне на глубину $^1/_3$—$^1/_2$ толщины одежды (рис. 327).

«Ложные» швы—единственная из известных конструкций, которая может быть выполнена механизированным способом (см. стр. 504).

Однослойная одежда с прямыми сквозными швами, заполненными асфальтобитумными материалами, при наличии дренирующей галечниково-песчаной подготовки, не может быть надежной, так как даже при незначительных раскрытиях щелей в швах будут большие потери воды. Поэтому в таких случаях переходят на более сложные конструкции. Примером такой конструкции может служить устройство шва с применением резиновой шпонки, предложенной Гидропроектом для монолитной облицовки канала Северный Донец—Донбасс (рис. 328).

Примером применения малой механизации для укладки монолитного бетона является опыт строительства каналов в Квисленде (Австралия); канал постоянного поперечного сечения бетонировался при помощи скользящей передвижной формы (рис. 329). Бетон поступал по катальным доскам в тележках на рабочую площадку, откуда перегружался в бункер и из бункера в форму. При перемещении бетона из бункера в форму он вибрировался пятью вибраторами, которые были отделены от бункера и формы резиновыми прокладками.

После прохода формы получалась гладкая поверхность бетона. Форма передвигалась со скоростью 1,2 *м/мин* при помощи установленной на ней пневматической лебедки. Несмотря на отсутствие швов в облицовке, трещины в бетоне были волосяные и малочисленные; они проходили непрерывными и тонкими линиями перпендикулярно к оси канала.

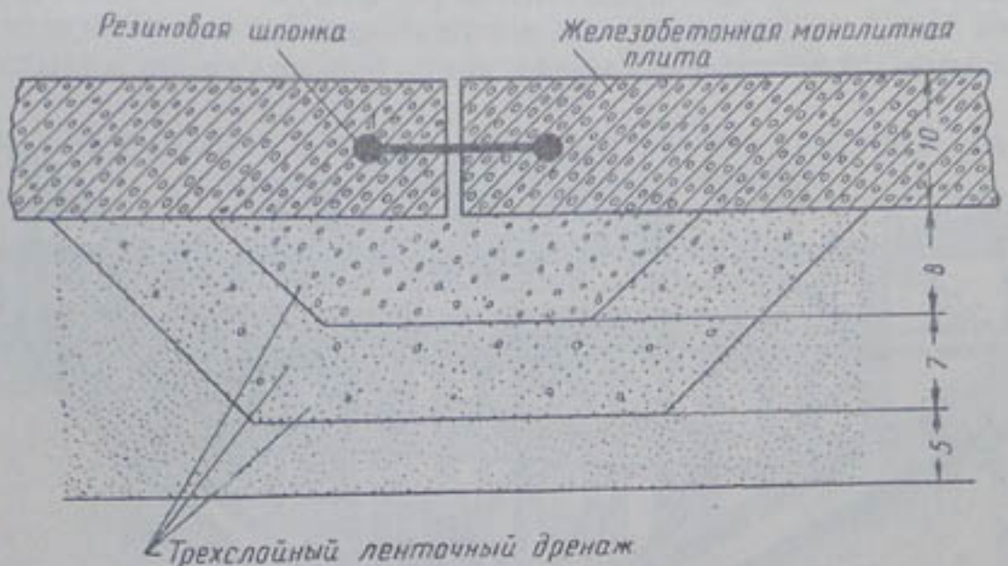


Рис. 328. Шов с резиновой шпонкой в монолитной железобетонной облицовке канала Северный Донец—Донбасс (размеры в *см*).

Облицовочные машины применялись в 1952 г. в Колорадо. Бетонируемый канал имел глубину около 4 *м*, периметр по поперечному сечению—19,3 *м*, облицован железобетоном толщиной 10,2 *см*. На стальной ферме, передвигавшейся по рельсам, смонтированы рабочая платформа, распределительные лотки, желоб и скользящая опалубка. Вибрация бетона производилась вибраторами, расположенными у самого края опалубки; сзади опалубки прикреплялся стальной лист для заглаживания поверхности бетона.

Рис. 329. Схематический разрез передвижной скользящей формы.

Н. Г. Цитович и А. Д. Пчелкин[1] предложили конструкции подвижной формы для бетонирования небольших каналов с периметром поперечного сечения 5—6 *м* и скользящей опалубки для бетонирования откосов крупных каналов, позволяющей укладывать бетон в облицовку слоем 4—8 *см*.

Предложенные установки подобны применяемым в США, но имеют конструктивные улучшения. Испытания подвижной формы, произведенные в 1958 г., показали удовлетворительные результаты.

На строительстве каналов Бени-Мусса (Марокко), шириной по дну 3—3,5 *м*, облицовка выполнялась бетоноукладочной машиной (рис. 330):

---

[1] Н. Г. Цитович и А. Д. Пчелкин. Бетоноукладчики непрерывного действия. «Гидротехника и мелиорация» № 11, 1958.

она имела загрузочную воронку объемом 1,5 $м^3$, через которую бетон поступал в вертикальные лотки и оттуда к распределительной воронке, расположенной в нижней части машины. Одновременно с распределением бетона производилось его вибрирование. За машиной скользили стальные балки, которые нарезали продольные швы на глубину $^1/_3$ толщины облицовки. Поперечные швы в облицовке нарезались через каждые 4 $м$ отделочной машиной; кроме того, специальная машина наносила на бетон защитный водонепроницаемый слой, который предохранял его также от высыхания.

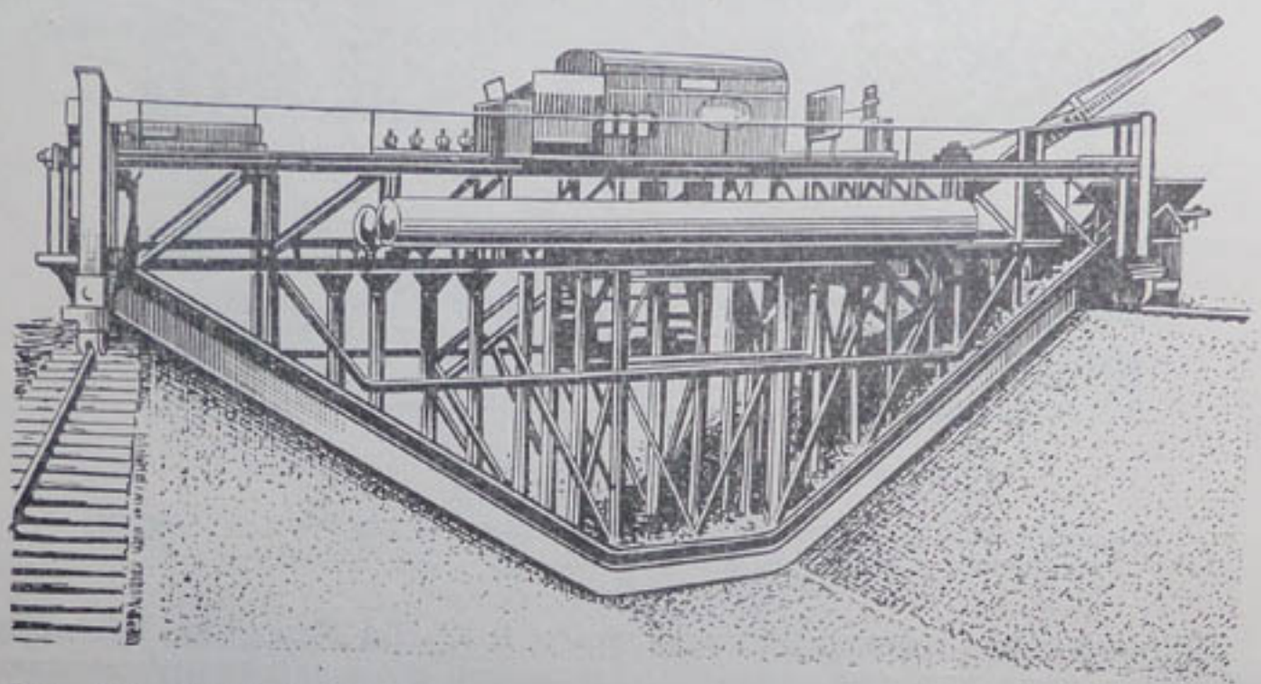


Рис. 330. Бетоноукладочная машина на строительстве каналов Бени-Мусса (Марокко).

Все машины, описанные выше, имеют общий недостаток: каждая из них может быть использована только для каналов определенного и постоянного поперечного сечения. Поэтому на строительстве, где нет большого протяжения каналов с одинаковой формой и размером поперечного сечения, применение описанных бетоноукладочных машин будет мало эффективным. Кроме того, эффективность снижается при наличии на каналах большого количества сооружений, так как при переходе через них приходится демонтировать и вновь монтировать машины.

Глава XXIV

ПРЕДВАРИТЕЛЬНО-НАПРЯЖЕННЫЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОН В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ[1]

§ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Предварительно-напряженный железобетон является прогрессивным высокоэффективным материалом, имеющим целый ряд положительных свойств. К ним относятся: уменьшение объема по сравнению с обычным железобетоном; отсутствие трещин, что особенно важно для конструкций гидротехнических сооружений, бо́льшие возможности сборности конструкций. Он широко применяется в мостостроении, в промышленном строительстве (подпорные стенки, плиты перекрытий, опоры).

Применение предварительно-напряженного железобетона в камерах шлюзов с напором 10 $м$ снижает расход бетона на 27% и металла на 48% по сравнению с монолитным железобетоном; в подпорных стенках экономия бетона составляет 45% и металла 55%.

[1] Глава XXIV написана инж. Л. Г. Мазанко.

С применением элементов из предварительно-напряженного железобетона часть работ выносится за пределы стройплощадок, что способствует большей индустриализации строительства.

Предварительно-напряженный железобетон в гидротехническом строительстве внедряется пока медленнее, чем в других отраслях.

В 1960 г. объем предварительно-напряженных железобетонных конструкций в энергетическом строительстве должен составить 7 млн. $м^3$, т. е. около 25% общего количества сборного железобетона.

§ 2. СОЗДАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПУТЕМ ОБЖАТИЯ МАССИВНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ[1]

Гравитационный способ обжатия сооружений. Требуемое напряженное состояние в бетоне и арматуре возникает под действием вертикальных сил собственного веса сооружения или выделенных из него частей, а также при помощи других нагрузок, приложенных к сооружению.

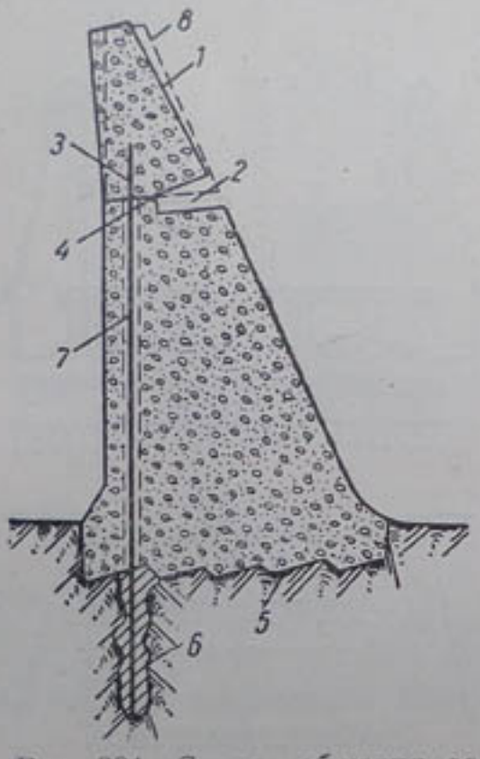


Рис. 331. Схема обжатия сооружения гравитационным способом:

1—натяжной блок; *2*—полость, бетонируемая впоследствии; *3*—натяжная арматура; *4*—ось вращения натяжного блока; *5*—скальное основание; *6*—заделка арматуры в скальном основании; *7*—пазы для закладки арматуры; *8*—окончательное положение натяжного блока.

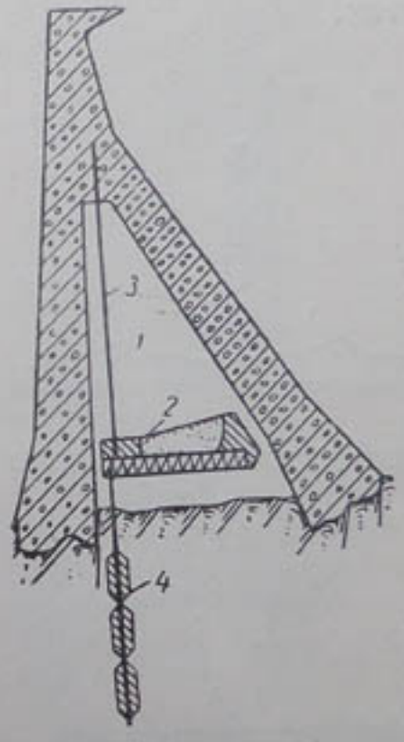


Рис. 332. Схема обжатия сооружения с помощью балансиров:

1—полость внутри сооружения; *2*—балансир; *3*—натяжная ветвь; *4*—анкерная ветвь тяжа.

Вначале производится бетонирование сооружения на определенную высоту (рис. 331). Затем в пазы *7*, оставляемые в период укладки бетонной смеси, закладывается арматура *3* (стержни или пакеты), которая заанкеривается в нижней части сооружения или, при наличии скального основания, в скалу. Верхние концы арматуры заанкериваются в вышележащем бетонном блоке *1*, которому во время бетонирования придается расчетный строительный наклон. Для поддержания натяжного блока *1* в наклонном положении используются вспомогательные средства, способные впоследствии обеспечить плавную посадку блока на место, например металлические цилиндры, наполненные песком или тонкие слои сыпучего материала.

[1] А. З. Басевич. Массивные гидротехнические сооружения с искусственным обжатием бетона. Госстройиздат, 1957.

После того как бетон блока *1* приобретает необходимую прочность, песок из цилиндров постепенно выпускается до тех пор, пока блок не сядет на рядом стоящие бетонные прокладки, после чего цилиндры удаляются. При сплошном слое песок удаляется иными способами, например вымыванием струей воды. В процессе удаления песка бетонный блок, перемещаясь вокруг оси вращения *4*, растягивает арматуру и занимает проектное положение; после этого арматура в ранее оставленных пазах заделывается слоем защитного материала, например цементным раствором. Применение этого способа позволяет уменьшить профиль гравитационных плотин.

Для напряженной анкеровки и обжатия бетона можно применить эксцентрично прикрепленные к натяжной арматуре массивы-балансиры, с помощью которых в арматуре обеспечивается постоянство усилий (рис. 332).

Гравитационный способ обжатия бетона нашел применение на строительстве Усть-Каменногорской гидроэлектростанции на р. Иртыше (подпорная стенка высотой 26 *м*).

Способ искусственного обжатия с использованием сжимаемости основания применим для фундаментных плит шлюзов, возводимых на сжимаемых грунтах.

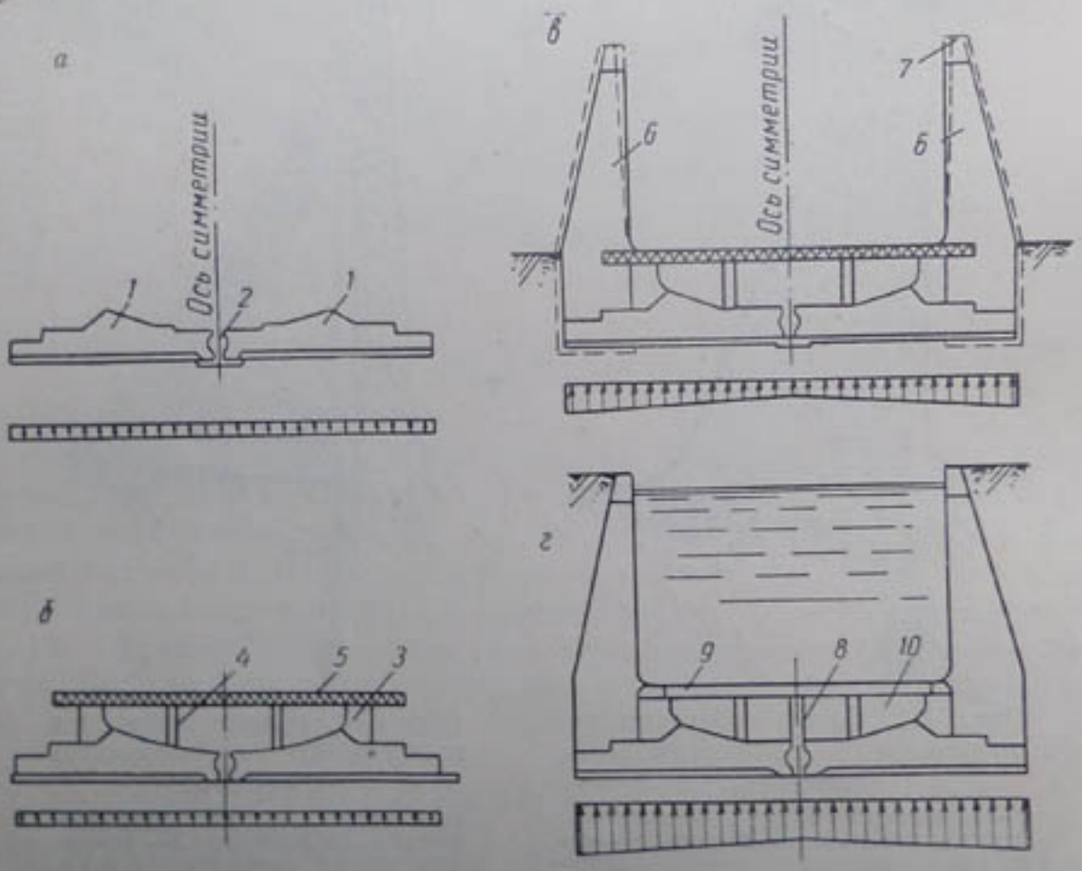


Рис. 333. Последовательные стадии возведения шлюза и схематические эпюры распределения напряжений в основании:

а—возведение раздельного днища шлюза; *б*—укладка натянной арматуры; *в*—возведение боковых стен шлюза; *г*—бетонирование замыкающего блока и натянной арматуры: *1*—раздельные части днища шлюза; *2*—сквозной осевой шов; *3*—поддерживающие блоки; *4*—стенки водопроводных галерей; *5*—натянная армоферма; *6* и *7*—последовательное возведение боковых стен; *8*—замыкающий блок; *9*—забетонированная затяжка (натянная армоферма); *10*—водопроводные галереи.

Для достижения силового эффекта растяжения арматуры и обжатия бетона используется неравномерность осадки внецентренно загружаемого фундамента при угловом его перемещении.

Особенностью этого способа является расчленение сооружения во время его постройки на отдельные части одним вертикальным осевым швом или же несколькими сквозными швами, вследствие чего возникает возможность некоторого поворота каждой из краевых частей. С другой стороны, свободный поворот отдельных частей ограничивается как возникающим в основании реактивным давлением грунта, так и упругим сопротивлением стальной затяжки *9* (рис. 333,*г*), связывающей по верху расчлененные части.

Этот способ нашел практическое применение для обжатия массивных фундаментных частей днища камер шлюза Каховского гидроузла (объем предварительно обжатой фундаментной части шлюза составил 52 тыс. $м^3$, т. е. около половины всего бетона в конструкции).

На рисунке 333 приведены последовательные стадии возведения сооружения и схематические эпюры распределения напряжений в основании двухступенчатого двухниточного шлюза Сталинградского гидроузла. Аналогичное решение принято для шлюза Воткинского гидроузла на р. Каме.

Способ искусственного обжатия с использованием бокового давления грунта засыпки или гидростатического давления воды предназначается для конструкций подпорных стен, контрфорсных плотин, боковых стен шлюзов, отстойников и резервуаров.

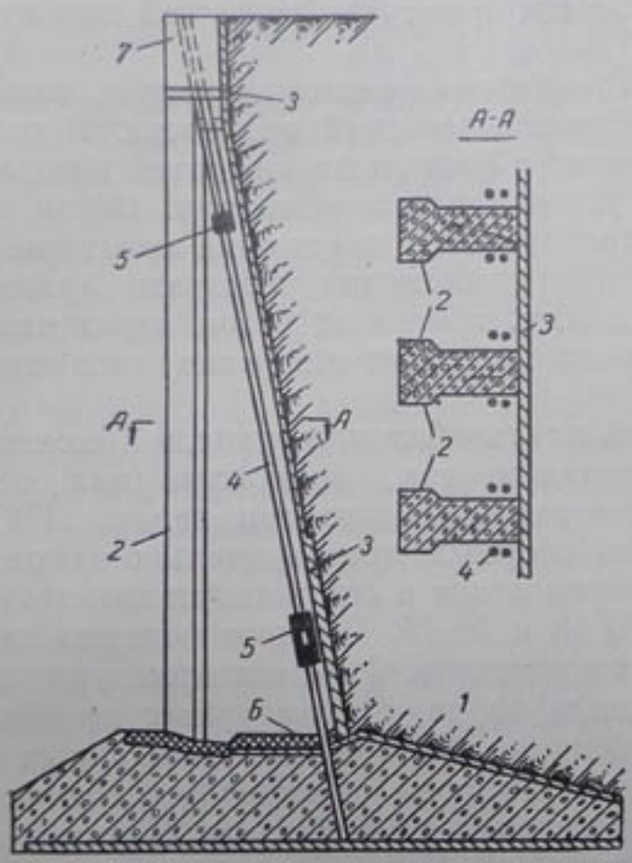


Рис. 334. Сборно-монолитная напряженная подпорная стенка:

1—фундаментная подушка; *2*—сборные ребра; *3*—сборные плиты перекрытия; *4*—натяжная арматура; *5*—стыки арматуры; *6*—заделочный бетон; *7*—оголовок.

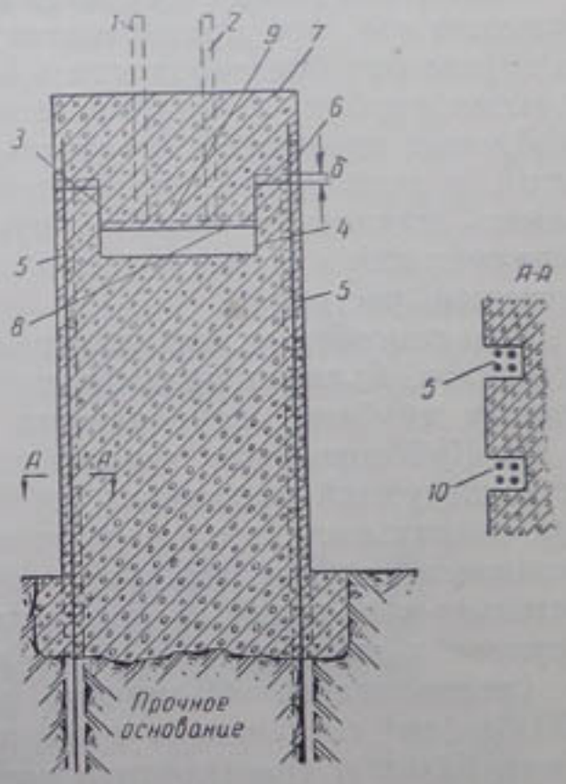


Рис. 335. Схема обжатия гидравлическим способом сооружения с двусторонним армированием:

1—трубки для нагнетания раствора; *2*—трубки для выхода воздуха; *3*—уплотнение по контуру; *4*—полость для нагнетания; *5*—натяжная арматура; *6*—зазор; *7*—верхний блок; *8* и *9*—положения блока до и после натяжения арматуры; *10*—пазы для закладки арматуры.

На рисунке 334 показана сборно-монолитная напряженная подпорная стенка, собранная из заранее изготовленных слабоармированных элементов в виде одиночных или сдвоенных балок (ребер) со сборными плитами между ними. После монтажа ребер и плит перекрытия в промежутках между ребрами устанавливают натяжную арматуру *4*, состоящую из отдельных стержней или пучков стержней из высокопрочной стали. Эту арматуру закрепляют нижним концом в фундаментной плите *1*, а верхним—в оголовке стены *7*. После того как бетон заделки наберет достаточную прочность, начинают послойную засыпку за тыловые грани стен. Сила распора грунта вызывает необходимое расчетное напряжение в арматуре.

Гидравлический способ искусственного обжатия. В теле сооружения предусматривается устройство специальных полостей между отдельными блоками с закрепленной в них арматурой (рис. 335). Нагнетанием жидкости в эти полости создается давление, обжимающее бетон. Арматура *5*, распо-

ложенная в пазах *10*, заанкеривается обоими концами в бетоне блоков. Полость *4* имеет по контуру листовое уплотнение, способное выдержать внутреннее давление. В верхнем блоке *7* предусмотрена трубка *1* для нагнетания в замкнутую полость *4* цементного раствора. В результате нагнетания под давлением можно получить значительное усилие, пропорциональное площади полости. При подъеме блока *7* достигается растяжение арматуры и обжатие бетона. При этом происходит раздвижка бетонных блоков на определенный интервал *6*, который должен быть сохранен неизменным; это достигается при твердении цементного раствора.

§ 3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО-НАПРЯЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ НАТЯЖНЫХ УСТРОЙСТВ

Этот способ заключается в натяжении арматуры (стержней или пучков проволоки) домкратами.

Натяжение можно создавать как до бетонирования элементов, так и по окончании его, при приобретении бетоном проектной прочности. В последнем случае при бетонировании в элементах оставляют отверстия или закладываются трубки, в которые затем устанавливают арматуру. Когда бетон приобретает проектную прочность, производится натяжение арматуры домкратом с постановкой прокладок; при отклонении домкрата арматура, стремясь принять первоначальную длину, обжимает бетон через анкера. После создания в элементе напряженного состояния отверстия заделываются цементным раствором.

Этим способом можно изготовлять плиты-оболочки, панели армопанельных блоков, балки и пролетные строения мостов, перекрытия (над отсасывающими трубами, спиральными камерами, машинными залами ГЭС).

На Куйбышевском гидроузле[1] из сборных предварительно-напряженных конструкций выполнены перекрытия входа в спиральную камеру и потолок спиральных камер агрегатов № 13 и № 14. Процесс монтажа свелся к установке готовых железобетонных элементов. Рабочая арматура предварительно-напряженных балок состояла из двух арматурных пучков, по 48 проволок диаметром 4,3 *мм* в каждом. Натяжение арматурных пучков производилось 60-тонным гидравлическим домкратом. Натяжение в 8600 *кг/см*^{2} создавалось в два приема; сначала усилием в 24 *т* для приведения балок в транспортное состояние, а затем полным усилием 60 *т*, после того как бетон балок набирал проектную прочность.

§ 4. СОЗДАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ С ПОМОЩЬЮ СТРУННО-БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Применение сборных железобетонных арматурных элементов позволяет отказаться от самостоятельных арматурных и опалубочных работ в котловане, что значительно повышает индустриальность и темпы строительных работ.

Гидроэнергопроект разработал проект Каунасской ГЭС на р. Неман с применением предварительно-напряженных струнно-бетонных элементов[2]. Здание станции, плотина и шлюз запроектированы с применением в горизонтальных элементах сооружения железобетонных армирующих решеток размером 7,7×5 *м* и весом 9 *т* с ячейками 80×80 *см* в свету (рис. 336). Решетки являются арматурой фундаментных плит. Нижняя решетка укладывается

---

[1] Б. В. Якубовский. Применение предварительно-напряженных железобетонных конструкций на Куйбышевгидрострое. «Гидротехническое строительство» № 4, 1956.

[2] П. Л. Василенко. За дальнейшее внедрение сборного бетона и железобетона. «Гидротехническое строительство» № 3, 1956; В. Х. Гольцман. Конструкция машинного здания ГЭС с напряженной армирующей сборной железобетонной оболочкой. «Гидротехническое строительство» № 4, 1956.

на подготовку основания; в ее ячейки устанавливаются бетонные столбы, поддерживающие верхнюю решетку, которая укладывается и крепится на столбах. В строительный период решетка может использоваться как бетоновозная эстакада.

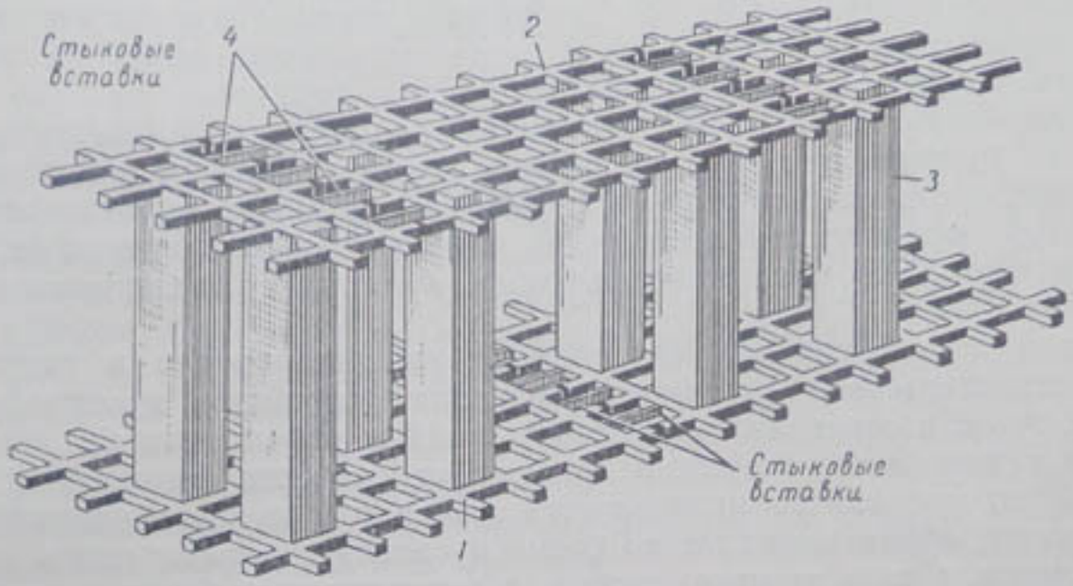


Рис. 336. Армирование горизонтальных плит:
1—нижняя решетка; *2*—верхняя решетка; *3*—бетонные столбы; *4*—стыковые вставки.

В вертикальных элементах сооружения (бычки, стенки) вместо опалубки и арматуры устанавливаются ребристые предварительно-напряженные плиты и монтажные элементы (рис. 337). Полости между плитами впоследствии заполняются бетоном.

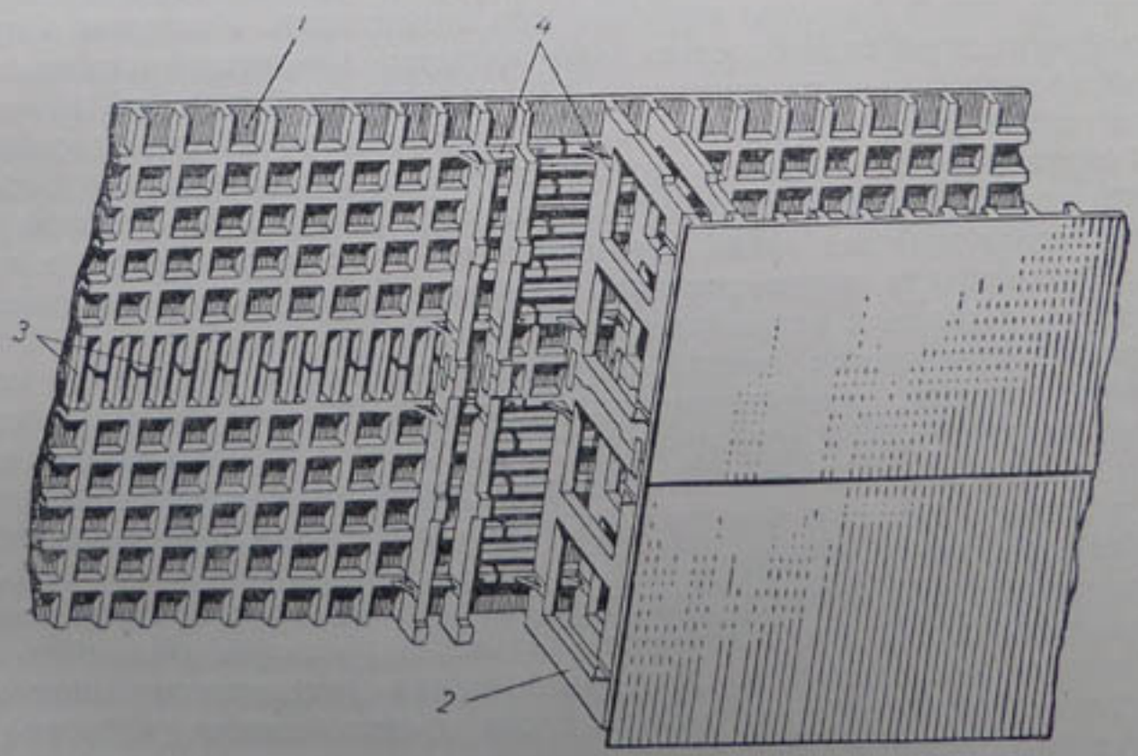


Рис. 337. Конструкция укрупненных монтажных блоков, образующих армирующую сборную оболочку вертикальных стен и быков:
1—армирующая ребристая плита; *2*—соединительная рама; *3*—стыковые напряженные вставки; *4*—металлические соединительные косынки.

Экономия бетона, по данным Гидроэнергопроекта, составляет 20—25% при значительном снижении марки монолитного бетона. Расход металла в сооруженных железобетонных конструкциях в среднем 10—12 *кг* на 1 $м^3$ кладки.

Глава XXV

ЦЕМЕНТАЦИЯ, БИТУМИЗАЦИЯ, СИЛИКАТИЗАЦИЯ[1]

§ 1. ЦЕМЕНТАЦИЯ

Цементация применяется для повышения прочности и водонепроницаемости скальных пород основания и бетонных кладок. Известны примеры цементации несвязаных гравийно-галечниковых грунтов.

Иногда применяют комбинированные способы закрепления грунтов: 1) горячая битумизация для заполнения крупных трещин с последующей цементацией всего массива породы; 2) силикатизация для заполнения тонких трещин, не поддающихся цементации и последующая цементация; 3) холодная битумизация, заполняющая тонкие трещины, и последующая цементация.

Способ цементации получил широкое распространение в гидротехническом строительстве. Он применяется для устройства противофильтрационных завес в основании гидросооружений и укрепления их оснований, для повышения монолитности и водонепроницаемости бетонных и каменных кладок; этот способ используется также при исправлении повреждений в кладке, образовавшихся во время производства работ или в процессе эксплуатации, в виде трещин, каверн, с вытекшим при бетонировании раствором, с пустотами в местах густой арматуры; способ цементации применяют при строительстве туннелей для сопряжения подошвы бетонного сооружения с залегающей в основании породой и т. д.

При цементации чаще всего применяется обычный силикатный цемент (портланд-цемент) марки не ниже 300, реже—шлако-силикатный или пуццолановый цемент. В особо сложных условиях применяют специальный расширяющийся силикатный цемент.

Консистенция цементного раствора, определяемая его водоцементным отношением, имеет большое значение при цементации. Растворы с высокой водоудерживающей способностью дают пористый цементный камень с пониженной прочностью и плотностью. Для качественной плотной цементации следует применять раствор с низкой водоудерживающей способностью. Такой раствор легко оседает в трубах, шлангах, насосе и может дать в них плотный осадок, препятствующий цементации. При работе с таким раствором его необходимо все время перемешивать, пока он не поступит в скважину. Прекращение перемешивания в течение 5 минут уже вызывает осадку цемента, и шланги оказываются забитыми.

Сроки схватывания можно регулировать, вводя в раствор соответствующие добавки, ускоряющие схватывание. Добавка хлористого кальция или жидкого стекла в количестве 1—2% от веса цемента вызывает ускорение схватывания в 2 раза. На жидкие растворы ускорители оказывают малое влияние, так как бóльшая их часть остается в воде и не вступает во взаимодействие с цементом.

Для цементации пород с большим водопоглощением применяют добавки—песок, глину, суперь. Цементно-песчаные растворы обладают резкой способностью расслаивания. Для уменьшения расслаивания используют пластифицирующие добавки, облегчающие проникновение раствора в тонкие трещины. Иногда для цементации применяют пуццолановый цемент или шлакоцемент, поскольку они отличаются стойкостью против действия агрессивных вод. Особенностью этих цементов является их замедленное схватывание, особенно при низких температурах.

Качество цементации зависит от размеров и расположения трещин и пор в толще цементируемой породы, размеров цементных частиц и консистенции раствора, давления и режима нагнетания. Опыт показывает, что при правильном выборе цемента и консистенции раствора может быть

---

[1] Глава XXV написана инж. Т. И. Зуевой.

достигнута удовлетворительная цементация трещин размером около 0,1 *мм* и более.

Схватывание и твердение цементационного раствора связаны с фильтрационными свойствами закрепляемого грунта. Хорошие результаты цементации получаются в породах, обладающих коэффициентом фильтрации 200 *м/сутки* и менее. При больших значениях коэффициента фильтрации происходит вымывание цементных частиц из несхватившегося раствора. В этих случаях необходимо применять другие способы для закрепления грунтов, например битумизацию.

Для оценки степени трещиноватости пород опытным путем определяют их удельное водопоглощение. Для этого в скважину нагнетают воду. То количество литров, которое поглощается 1 пог. *м* ствола скважины в минуту, при давлении равном 1 *м* вод. ст. называется удельным водопоглощением данной породы. Его величину определяют по формуле:

$$q = \frac{Q}{Hl},$$

где q — удельное водопоглощение в *л/мин*;

Q — общий расход воды, поглощенный испытуемой частью скважины;

H — давление нагнетания в *м* вод. ст.;

l — длина испытуемой части скважины в *м*.

Расстояние между опытными скважинами зависит от величины q. Радиус влияния каждой скважины определяют опытным путем в результате ряда попыток. Практически расстояние между скважинами принимается от 3 до 10 *м*; иногда приходится сближать скважины, располагая их на 0,3—2 *м* друг от друга.

На работах по укреплению бетона скважины размещают в шахматном порядке так, чтобы они пронизали весь подлежащий цементации массив. Густота скважины зависит от водопоглощения.

Бурят скважины чаще всего вращательным бурением; при глубине до 8 *м* их проходят перфораторами. Опытом определяют и нужный диаметр скважин. Он зависит от величины q, глубины бурения и типа бурового оборудования; обычно $d = 50 \div 300$ *мм*.

Комплект оборудования для цементации состоит из дозировочных устройств, растворомешалки, насоса, труб и шлангов, нагнетателей (инъекторов), манометров и пр.

Применяются инъекторы разных конструкций: для прямой подачи раствора, без циркуляции (рис. 338,*а*), и для нагнетания с циркуляцией раствора (рис. 338,*б*). Для плотного закрытия верхней части скважин внешнюю трубу инъектора опускают вниз, завертывая гайку, перемещающуюся по резьбе внутренней трубы. Опускаясь, труба растягивает резиновые кольца и прижимает их к стенкам скважины.

Если цементационная скважина в верхней ее части (устье) проходит через скалу или бетонный массив, то ее снабжают отрезком трубы, длиной до 40 *см*, устье заделывают цементным раствором, к трубе присоединяют шланг от цементационного насоса.

Если цементационная скважина проходит через пласт мягкой породы, то для закрепления скважины применяют обсадные трубы с последующей заливкой их цементным раствором. Для глубинной цементации породы скважины проходят станками вращательного колонкового бурения. Перед началом цементации скважины промывают и делают пробное нагнетание воды.

При небольшой трещиноватости цементируемых пород скважины бурят сразу на полную глубину и цементацию производят за один прием. Если с глубиной трещиноватость породы изменяется, то скважину разбивают на зоны с примерно равной трещиноватостью, и цементацию производят по зонам, в несколько приемов—сверху вниз или снизу вверх. В первом случае (наиболее распространенный способ) в цементируемой породе бурят участок скважины и нагнетают раствор. После схватывания раствора углуб-

ляют скважину в следующую зону и т. д. Уплотнитель при этом постоянно установлен в устье скважины. При этом способе получается многократное нагнетание в верхних участках скважины, что повышает общий эффект цементации.

Во время цементации снизу вверх скважина бурится на полную глубину; выделение каждой нижней зоны для последовательной цементации производится при помощи уплотнителей, которые по мере хода работ поднимают. Этот способ применяют, если в породе нет вертикальных или крутонаклонных трещин.

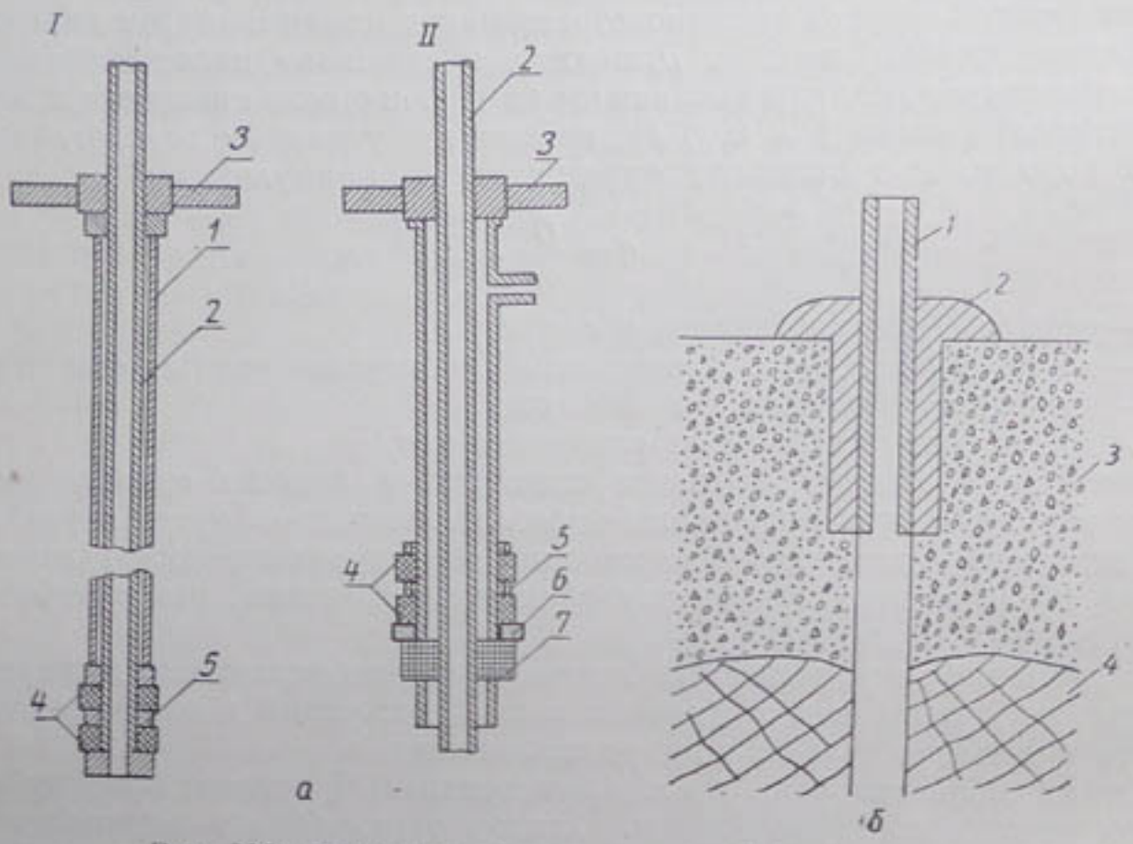


Рис. 338. Оборудование цементационной скважины:
а—нагнетатели: *I*—для работы нажимным способом; *II*—для работы нажимным способом с циркуляцией раствора; *1*—внешняя труба; *2*—внутренняя труба; *3*—гайка; *4*—резиновые кольца; *5*—прокладки; *6*—металлическое кольцо; *7*—пластинка. *б*—нажимной способ: *1*—трубка $d=25$ *мм*; *2*—заделка цементным раствором; *3*—бетон; *4*—цементируемая порода.

Для цементации применяют растворомешалки цикличного или непрерывного действия.

В качестве цементационных насосов используют поршневые одноцилиндровые или двухцилиндровые насосы одинарного или двойного действия—РН-1, РН-2 или С-263. На случай выхода из строя одного насоса должен быть на месте другой—запасной. Необходим также насос для пробного нагнетания в скважину воды.

Трубопровод для транспортирования раствора от скважины к насосу должен быть рассчитан на пропуск требуемого количества раствора. Трубопровод не следует брать длиннее 150—200 *м*. Трубы должны выдерживать расчетное давление.

Нагнетание раствора в скважину ведут непрерывно, пока полностью не прекратится поглощение (отказ) или оно снизится до заданной проектом величины. После достижения отказа проверяют надежность цементации нагнетанием жидкого раствора. Если при этом опять наблюдается отказ, то цементация скважины на этом заканчивается.

Длительность цементации одной скважины составляет 2—6 часов.

Не допускается одновременное нагнетание в скважины, сообщающиеся по трещинам. Если раствор прорвется на поверхность и давление нагнетания упадет более чем на 10%, то необходимо немедленно заделать прорыв и нагнетать раствор более слабой консистенции.

Бетонную кладку цементируют для устранения дефектов, возникших во время укладки бетона, последствий его выщелачивания (каверн, полостей, повышенной пористости) и уплотнения трещин. Объем работ по цементации бетона определяют пробным нагнетанием воды в скважины, пробуренные в местах предполагаемых дефектов кладки. Приходится прибегать иногда к частичной разборке бетонной кладки. После нагнетания воды в опытную скважину нагнетают воздух с целью отжатия воды из пор бетона.

Нагнетание раствора в скважину ведется с постепенным усилением концентрации до тех пор, пока при назначенном давлении не наступит отказ в поглощении.

Для создания в бетонном массиве противофильтрационной завесы применяют последовательное сближение скважин.

При необходимости уплотнения системы трещин в кладке применяют цементацию перфораторных скважин, пересекающих под углом поверхность трещин. Скважины проходят и цементируют в несколько приемов до тех пор, пока не будет достигнута необходимая водонепроницаемость.

§ 2. БИТУМИЗАЦИЯ

Битумизация осуществляется нагнетанием битума в скважины, пробуренные в грунте или кладке на требуемую глубину. Этот способ применяют в тех случаях, когда в породах, служащих основанием сооружения, имеют место значительные скорости фильтрационного потока, при наличии минерализованных вод или выщелачиваемых соединений.

Существуют два способа битумизации—горячий и холодный.

Горячий способ заключается в нагнетании под давлением в скважины расплавленного битума. Благодаря хорошей текучести горячего битума он легко проникает в трещины и каверны, плотно их заполняет, затем, остывая, постепенно твердеет и уплотняет, таким образом, породу.

При холодном способе в скважины нагнетают жидкую битумную эмульсию, состоящую из битума, воды и эмульгатора. Эмульгатор (чаще всего мыло) удерживает битум в воде во взвешенном состоянии. Во время нагнетания в эмульсию добавляют коагулятор, который вызывает объединение мельчайших частиц битума в хлопья и комки, выпадающие из эмульсии и заполняющие трещины и каверны.

В гидротехническом строительстве применяют обычно горячий способ битумизации, более подробно рассматриваемый ниже.

Для битумизации может применяться как природный, так и искусственный нефтяной битум. Природные битумы встречаются в чистом виде или их получают из асфальтовых горных пород. Искусственные или нефтяные битумы получают путем переработки нефти, угля, торфа или сланцев.

При обычной температуре битум представляет собой, в зависимости от его марки, полутвердое (вязкое) или твердое вещество. При разогревании битум плавится, при остывании снова затвердевает. Битум не растворяется в воде и не смешивается с ней. Битум не поддается химическому воздействию примесей, находящихся в грунтовых водах. В СССР вырабатывается пять марок битума; наиболее мягкий—первой марки, наиболее твердый—пятой. При устройстве противофильтрационных завес горячим способом применяют битумы третьей, четвертой и пятой марок.

Посторонние примеси в битуме (песок, гравий, щепки и др.) способствуют засорению насоса или фильтра битумоварочного котла. Следует также предохранять битумы от увлажнения; в них допускается наличие лишь следов воды, так как только при этом во время разогревания битума не образуется пены и возможно поднятие температуры до необходимого предела. Для улучшения качества битума в него вводят добавки—трепел, асбест, золу.

Для улучшения проникания битума по мелким трещинам в качестве добавок используют размолотый в порошок торф в количестве до 40% от веса битума.

Чтобы снизить стоимость битумизации при наличии крупных трещин и пустот, в качестве добавок используют дешевые местные материалы: мел, доломитовую муку.

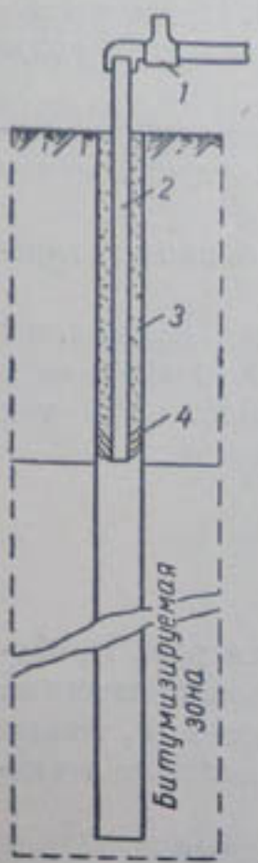


Рис. 339. Оборудование мелких скважин для битумизации без прогрева:

1—тройник; *2*—труба $d=25$ *мм*; *3*—заливка цементно-песчаным раствором; *4*—веревочный уплотнитель.

Если завеса имеет временное назначение, глубина ее не превышает 5 *м* и не требуется высокая степень уплотнения, то битумизация производится без предварительного прогрева (рис. 339).

При горячей битумизации глубоких скважин нагнетание битума в скважину осуществляется в предварительно подогретом состоянии. Оборудование скважины и схема установки показаны на рисунке 340.

Подогревание предварительно раздробленного битума производят в специальных котлах *1* емкостью около 1000 *л*. Часовая производительность битумоварочного котла достигает 400 *л* при условии поддержания постоянного уровня битума в котле не менее 5—6 *см* от верхнего борта. Выпускные патрубки для подачи битума к насосу устанавливают только в верхней части котла, так как в верхних слоях битум более горячий и чистый. Холодный, загружаемый битум опускается на дно, погружаясь в горячий битум; там происходит плавление отдельных кусков с подъемом наиболее горячих частиц кверху.

Перемешивание битума в котле во время нагнетания не допускается.

Температура подогрева битума колеблется от 160 до 210° в зависимости от его марок и условий процесса битумизации.

Температуру измеряют ежечасно и только в верхнем слое, на глубине 8—10 *см* от поверхности. Из котла битум подается в скважину насосами *4*, под давлением не менее 80—100 *ат*. Производительность насосов 250—750 *л/час*.

От котла к скважине битум подается насосом по трубопроводу *11*. Продолжительность нагнетания в скважину зависит от количества и величины заполняемых битумом трещин и от организации работ. Битум нагнетают в скважину циклично, учитывая хорошую проницаемость его по трещинам.

При первом нагнетании производится непрерывный прогрев в течение не менее двух часов. Если давление не повышается, то прогрев выключают. После повышения давления прогрев снова включают. Количество циклов колеблется в пределах от 2—3 до 10—12. Длительность первого цикла может продолжаться от нескольких минут до 20 часов и более. Длительность перерывов для охлаждения (между циклами) зависит от объема накаченного битума и может колебаться на практике от 2—3 часов до четырех и более суток.

Перед каждым последующим циклом нагнетания проводят предварительный прогрев скважины в течение от 0,5 до 1 часа. Во время нагнетания обогрев обязателен лишь при повышении давления в скважине.

Каждый повторный цикл длится от 25 до 60% времени предыдущего цикла. Установка для битумизации должна быть обеспечена достаточным запасом битума, дров, инструмента.

Кроме битумизированной скважины, одновременно должно быть полностью оборудовано нагнетателями не менее трех скважин с обеих ее сторон.

Для подогрева битума, застывшего в скважинах, перед повторным нагнетанием, а также для компенсации потерь тепла во время нагнетания

применяют электро- или теплопрогрев. Последний осуществляется нагретыми жидкостями или паром.

Битум нагнетают в скважину в течение двух часов после достижения проектного давления, причем давление колеблется от минимального до 40—60 *ат* (пусковое давление).

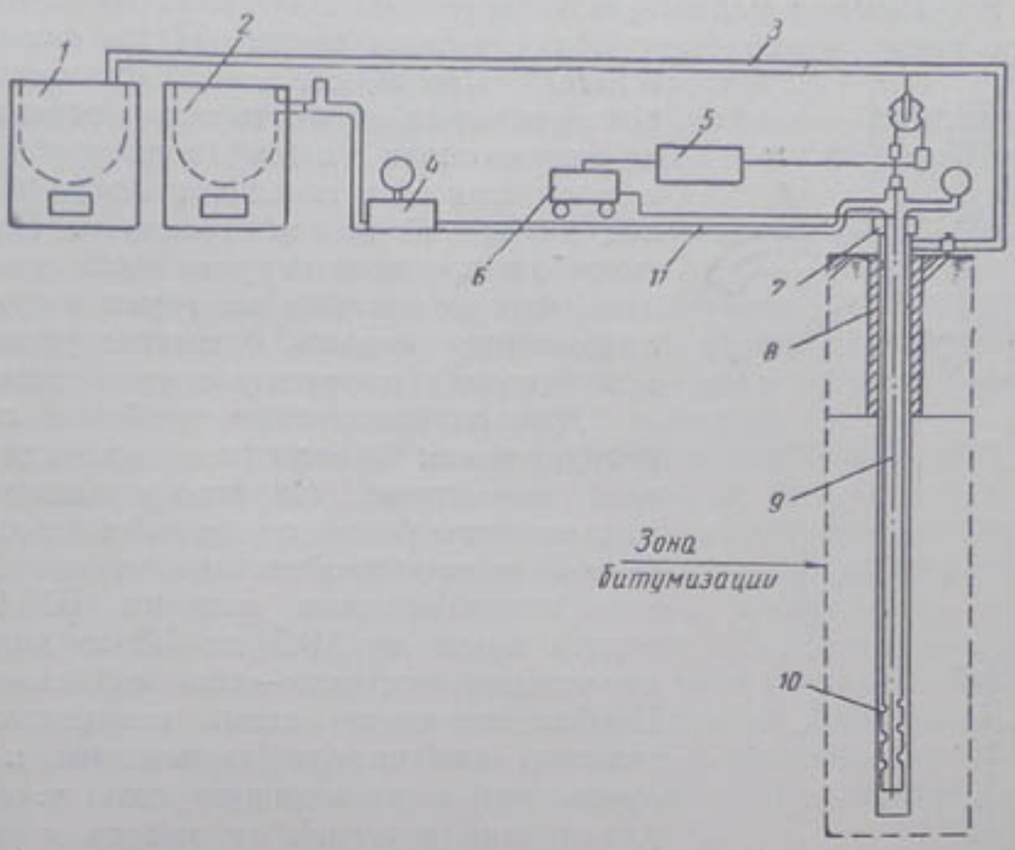


Рис. 340. Общая схема установки для производства работ по горячей битумизации:
1—котел для варки битума; *2*—котел для подогрева битума; *3*—циркуляционный сброс; *4*—насос; *5*—щиток; *6*—трансформатор; *7*—нагнетатель; *8*—кондуктор; *9*—провод электроподогрева; *10*—отверстие для выхода битума; *11*—трубопровод.

§ 3. СИЛИКАТИЗАЦИЯ

Силикатизацией называется способ повышения механической прочности грунтов, их водонепроницаемости и водоустойчивости нагнетанием в трещины и пустоты грунтов химических средств (силиката натрия, хлористого кальция, сернокислого алюминия). Для этих же целей, когда малые размеры пор не позволяют воспользоваться цементацией и битумизацией, при производстве каменных и бетонных работ применяется силикатизация.

Применяются два метода силикатизации: однорастворный и двухрастворный.

Однорастворный метод используют для закрепления лессовых грунтов с коэффициентом фильтрации 0,5—1 *м/сутки* путем нагнетания раствора жидкого стекла $Na_2O.nSiO_2$ (раствор силиката натрия 15% концентрация) и для закрепления плывунов с коэффициентом фильтрации от 2 до 5 *м/сутки*, с применением того же жидкого стекла, но с добавкой фосфорной кислоты. Такой силикатный раствор является гелеобразующим, т. е. переходящим из жидкости в студнеобразную массу. Срок гелеобразования может продолжаться до 16 часов и зависит от концентрации и соотношения растворов.

Двухрастворный метод силикатизации применяется при закреплении песчаных грунтов, в тонкотрещиноватых породах и для увеличения прочности и водонепроницаемости бетонных и каменных кладок, когда малые размеры пор не дают возможности применять цементацию и битумизацию.

Для песчаных грунтов с коэффициентом фильтрации от 2 до 8 *м/сутки* применяют поочередное нагнетание в грунт раствора силиката натрия

$Na_2O \cdot nSiO_3$ с удельным весом 1,36—1,40 и раствора хлористого кальция $CaCl_2$ с удельным весом 1,24—1,28.

После закрепления песчаного грунта двумя растворами грунт приобретает механическую прочность в пределах от 15 до 30 *кг/см²*, водонепроницаемость и устойчивость в минерализованных водах.

При закреплении мелкозернистых песчаных грунтов (плывунов) одним раствором грунт приобретает механическую прочность на сжатие около 5 *кг/см²*. При закреплении лесса одним раствором грунт приобретает механическую прочность на сжатие около 8 *кг/см²*, водонепроницаемость и теряет при этом способность давать просадки под нагрузкой при замачивании. При выборе способа закрепления грунта необходимо учитывать, что воздействие на грунт после его силикатизации водами, богатыми углекислотой, механическая прочность грунта снижается.

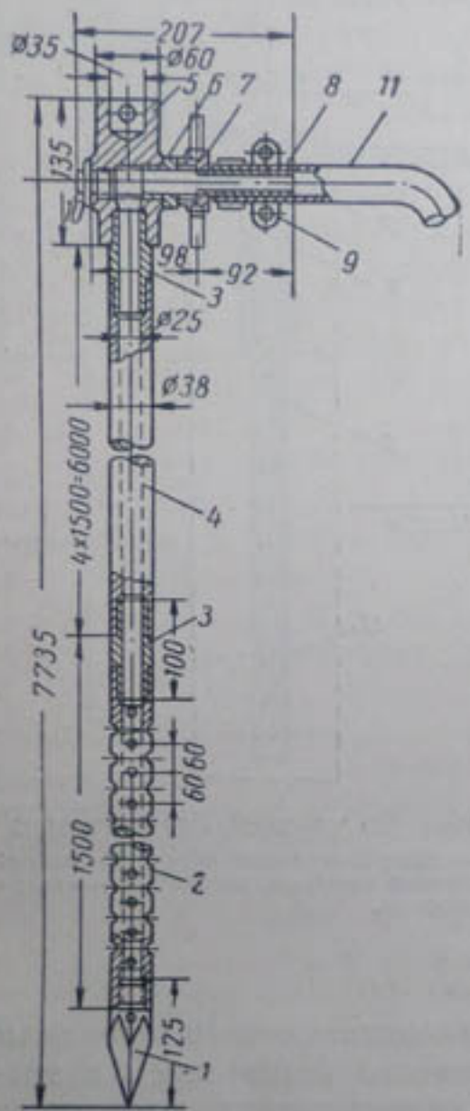


Рис. 341. Общий вид инъектора для силикатизации грунтов:

1—наконечник; *2*—перфорированное звено; *3*—соединительный ниппель; *4*—глухое звено; *5*—наголовник; *6*—ниппель наголовника; *7*—соединительная гайка; *8*—штуцер; *9*—хомутик; *10*—заглушка; *11*—шланг.

Для силикатизации требуется следующее оборудование: насосы для нагнетания растворов, инъекторы (перфорированные трубы), механические копры с ударной частью до 150 *кг*, ручные молоты двойного действия весом 100 *кг* или пневматические молотки (БМ-17; БЛ-38 и др.) весом от 19,5 до 52 *кг* для забивки инъекторов, и тали—для вытаскивания их. Необходимо также иметь контрольно-измерительную аппаратуру (термометры, манометры, ареометры) и разводящую сеть, т. е. шланги для подачи раствора от насоса к инъектору, соединительные части и краны к ним; для обеспечения работы пневмоинструмента необходим сжатый воздух, подаваемый под давлением 4—5 *атм*. Нужны также силикаторазварочная установка для получения на месте жидкого стекла, и тара для хранения химических растворов. Для силикатизации каменных и бетонных кладок требуются перфораторы.

Инъектор (рис. 341) состоит из наконечника (нижней части инъектора), перфорированной части трубы и звеньев глухих труб, используемых в зависимости от требуемой глубины забивки инъектора.

При глубине забивки инъектора до 15 *м* поверхностный слой глубиной до 1,5 *м* оставляют незакрепленным или закрепляют его слоем бетона толщиной не менее 10 *см* с отверстиями для опускания инъекторов. Если глубина забивки превышает 15 *м*, то предварительно пробуривают скважину, глубина которой на 2—3 *м* меньше глубины забивки.

При силикатизации галечников или уплотненных глин грунт предварительно пробивают стальной штангой, диаметр которой должен быть меньше диаметра самого инъектора. Если инъекторы забивают в лессовых грунтах или в песках, то перед началом забивки необходимо замазать отверстия в перфорированной части инъектора замазкой, глиной или тавотом; это предотвращает засорение инъектора во время забивки его в грунт. Во время нагнетания замазка выталкивается раствором.

При силикатизации плывунов применяют инъектор, перфорированная часть которого имеет длину 1 *м*, а внутренний диаметр 18 *мм*; на ней имеется 40 отверстий диаметром 10 *мм*, расположенных в шахматном порядке. На

перфорированную часть надевается резиновый чехол, на котором против каждого отверстия трубы делают по 3—4 прокола иглой диаметром 3 *мм*. Затем поверх резинового чехла надевают предохранительный футляр из листовой стали толщиной 1,5—2 *мм*, который имеет такие же отверстия, как и перфорированная часть трубы. Стальной футляр, в свою очередь, закрепляется на перфорированной части трубы стопорными винтами для того, чтобы отверстия на футляре совмещались с отверстиями на трубе.

В плане инъекторы располагают в шахматном порядке. Расстояние между ними назначается в зависимости от коэффициента фильтрации; если последний составляет 10—20 *м/сутки*, то расстояние между скважинами принимают 0,5—1 *м*.

Количество раствора, расходуемого при силикатизации на закрепление 1 $м^3$ грунта, колеблется в пределах от 200 до 240 *л*.

Раствор нагнетается агрегатом, в состав которого входят: два насоса производительностью 10 *л/мин* каждый, электродвигатель мощностью 1,5 *квт*, червячный редуктор, два бачка, манометры и регуляторы давления.

Насосный агрегат нагнетает раствор в инъектор по резиновым шлангам с внутренним диаметром 25 *мм* и расчетным давлением до 30 *ат*.

Нагнетание производят отдельными заходками; величину заходки принимают равной длине перфорированного участка трубы инъектора плюс половина радиуса зоны закрепления грунта. Если коэффициент фильтрации постоянен, то процесс силикатизации ведется несколькими заходками, сверху вниз. Если же коэффициент фильтрации с глубиной увеличивается, то нагнетание производят снизу вверх, т. е. от слоя с большим коэффициентом фильтрации к слою с меньшим коэффициентом фильтрации.

При нагнетании раствора рабочее давление может колебаться от 5 *атм* (для лессов и плывунов) до 15 *атм* (для песков). К нагнетанию приступают непосредственно после забивки инъектора.

Объем нагнетаемого раствора (за одну заходку) определяют по формуле:

$$V = an\pi rl,$$

где V — объем раствора в *л*;

a — эмпирический коэффициент; для песков $a = 5$, для лессов $a = 8$, для плывунов $a = 15$;

r — радиус закрепления в *м*;

l — глубина заходки в *м*;

n — пористость грунта в %.

Если имеются трещины и пустоты, расположенные вертикально, то инъекторы забивают наклонно, пользуясь специальным шаблоном.

По окончании нагнетания инъекторы с помощью талей поднимают на поверхность.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ОТВОД ВОДЫ. ВОДООТЛИВ И ВОДОПОНИЖЕНИЕ

Глава XXVI

ОТВОД ВОДЫ ВО ВРЕМЯ ПОСТРОЙКИ ГИДРОУЗЛОВ

Сооружения гидроузлов возводят в сухих котлованах. Это достигается, во-первых, отводом реки во время постройки и ограждением котлована перемычками; во-вторых, откачкой воды из огражденного пространства; в-третьих, понижением грунтовых вод, если они стоят выше дна котлована.

Перемычками называются вспомогательные напорные гидротехнические сооружения, ограждающие котлованы сооружений, возводимых в русле или в берегах реки. Перемычки являются хотя и временными, но крайне ответственными сооружениями; они должны быть прочными и дешевыми; постройка их должна производиться быстро, по возможности из местных материалов. В состав проекта сооружения входит проект организации работ; в нем разрабатывается конструкция перемычек и решается способ отвода воды во время постройки, а также способ водопонижения, если оно необходимо.

§ 1. СПОСОБЫ ОТВОДА ВОДЫ

Различают два способа отвода воды: 1) расход реки отводится полностью и сооружение строится сразу в одном котловане; 2) река протекает в естественном русле, частично занятом котлованом, огражденным перемычками; сооружение строится по частям, так называемым секционным способом.

Расход реки, пропускаемый во время постройки гидроузла, принято называть строительным; он определяется по методам гидрологии.

При постройке сооружения сразу в одном котловане строительный расход может быть пропущен: 1) через отводной канал (рис. 342) или через туннель; 2) через лотки, врезанные в верховую и низовую перемычки (рис. 343); 3) через водоспуски (рис. 344), если русло реки перегораживается земляной плотиной с водоспуском.

Выбор того или иного способа пропуска воды зависит от величины строительного расхода, объема и стоимости работ по отводу воды, от конструкции и срока возведения сооружений. Выбор этот делается при проектировании гидроузла; без этого проект не может быть выпущен.

Отводные каналы целесообразно устраивать при небольших строительных расходах, некрутых берегах реки и, следовательно, при небольшом объеме работ по их возведению. Их применяют при постройке гидроузлов как с бетонными, так и с земляными плотинами. При расположении гидроузла на повороте реки можно сократить длину отводного канала и во многих случаях использовать в качестве отводных каналов петли реки, ее староречья.

Туннели—это капитальные и дорогостоящие сооружения; их целесообразно использовать в период постройки для отвода воды, если они входят

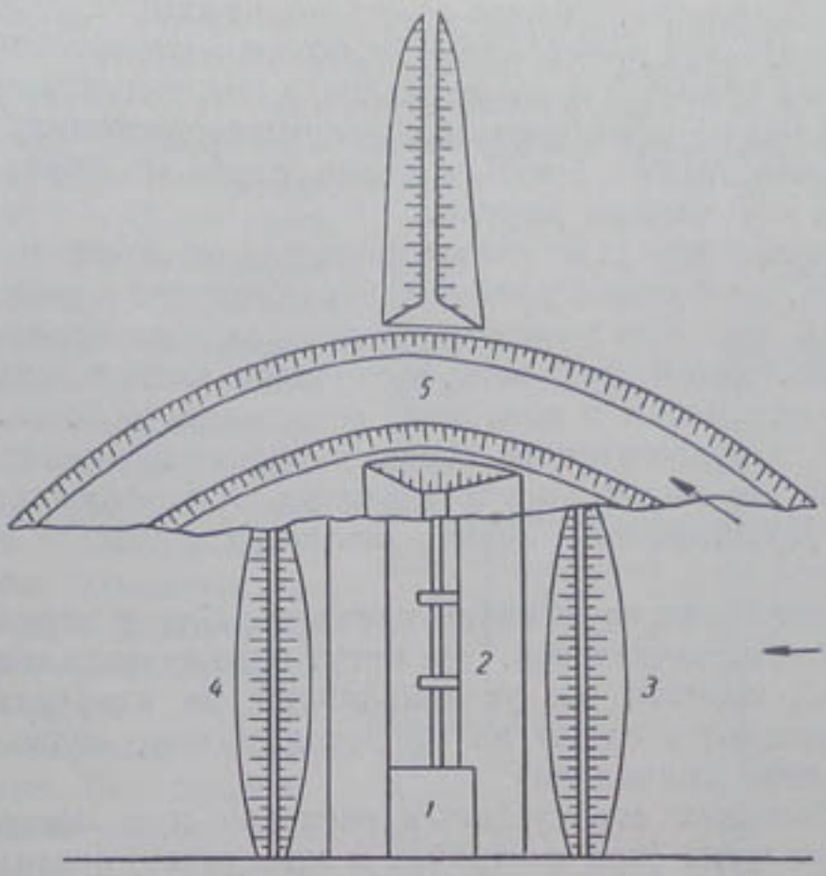


Рис. 342. Пропуск реки через отводное русло:
1—ГЭС; *2*—плотина; *3*—верховая перемычка; *4*—низовая перемычка; *5*—отводное русло.

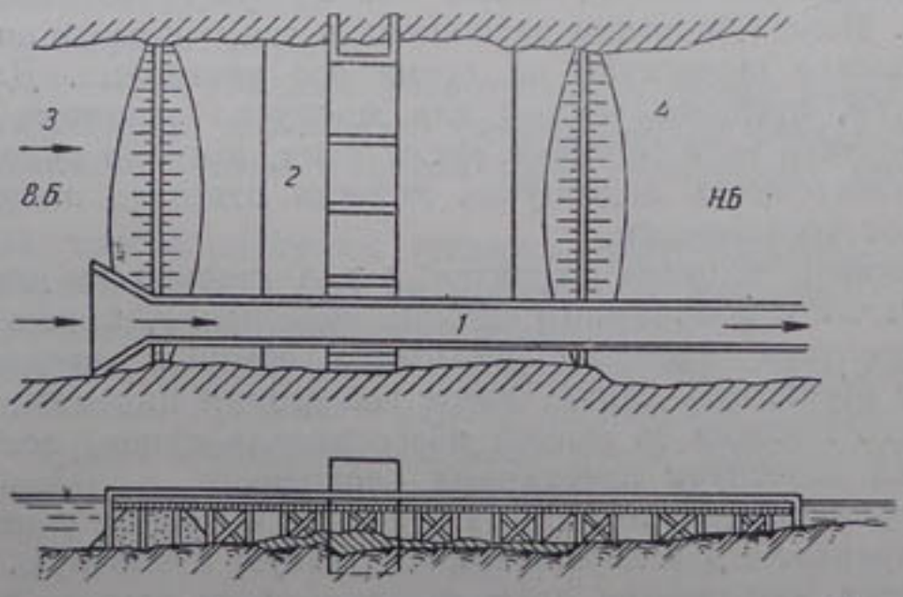


Рис. 343. Схема отвода воды лотком при постройке бетонной плотины:
1—лоток; *2*—бетонная плотина; *3*—верховая перемычка; *4*—низовая перемычка.

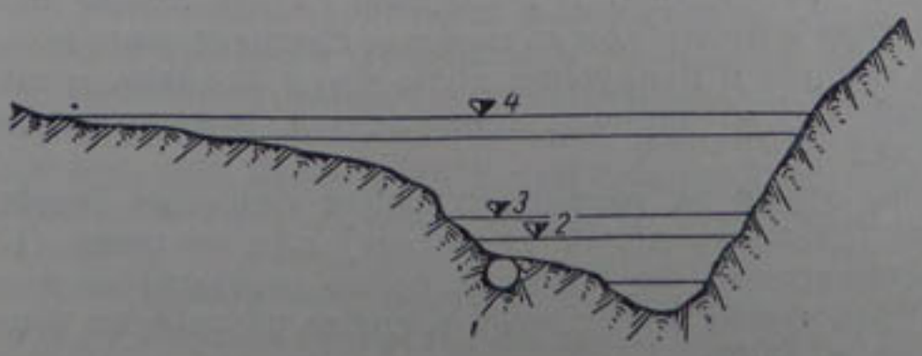


Рис. 344. Пропуск строительного расхода через водоспуск.
1—водоспуск; *2*—горизонт строительного расхода; *3*—гребень верховой перемычки; *4*—гребень земляной плотины.

в состав проекта гидроузла. Обычно этот прием применяют на горных реках с узкими долинами, когда другие способы отвода воды невозможны и дороги.

Для пропуска строительных расходов в период возведения плотины в русловой части можно использовать сбросные сооружения, расположенные на пойме; примером такого решения может служить Иваньковский гидроузел на р. Волге и многие другие.

Лотки над котлованом устраивают лишь для пропуска небольших строительных расходов, при узких руслах, затрудняющих применение секционного метода. Этим способом нужно пользоваться с осторожностью, так как авария лотка, фильтрация через него, обмерзание лотков зимой могут осложнить работы. Опоры лотков в котловане создают неудобства. Нетщательное их выполнение или недостаточное сечение служат причинами аварий: так, например, лотки оказались неудачными на постройке плотины Гаузер на р. Миссури. Достоинством лотков является простота и быстрота их устройства.

Лотки устанавливают на эстакаде, начинающейся у верховой перемычки и заканчивающейся ниже низовой. Они могут применяться только при строительстве бетонных плотин; их устанавливают на отметках выше порога отверстий и размещают в одном из пролетов. Отвод воды лотками имеет весьма ограниченное применение.

Пропуск небольших строительных расходов при постройке земляных плотин через водоспуски (при постройке в один сезон) связан с небольшими затратами на подвод воды к голове водоспуска и отвод из него (через часть котлована и перемычки), так как самый водоспуск, как постоянное сооружение, входит в состав гидроузла. Очень важно правильно расположить водоспуск. Желательно, чтобы основание его было несколько выше уровня строительных расходов с тем, чтобы иметь возможность построить водоспуск насухо. Можно, конечно расположить его и несколько ниже, предусмотрев небольшие перемычки на время его постройки. Для упрощения работ водоспуск, предназначенный для пропуска строительных расходов, следует располагать не в середине русла реки, а около одного из берегов. Пропускная способность водоспуска должна отвечать эксплуатационным и строительным требованиям.

Если земляная плотина строится в два сезона, то для уменьшения высоты перемычек и поперечного сечения водоспуска, можно их назначать из условий пропуска меженных расходов и осенних паводков; но в этом случае нужно обеспечить такие темпы возведения плотины, чтобы к пропуску весеннего паводка ее высота обеспечивала напор, необходимый для пропуска через водоспуск паводковых расходов.

При отводе воды через лотки или водоспуски в русле реки выше и ниже котлована устраивают две перемычки—верховую и низовую. Отметка верховой перемычки назначается по гидравлическому расчету в соответствии с расположением дна отводного канала или водоспуска. Высота низовой перемычки определяется горизонтом строительного расхода в реке (с небольшим запасом).

При *секционном способе* сооружение возводится в две (рис. 345) или в три очереди. В последнем случае можно строить сначала две крайние секции с пропуском воды через среднюю секцию, а затем закрывать среднюю секцию с пропуском воды через крайние готовые секции.

Секционный способ широко применяется при возведении бетонных плотин в руслах рек.

В последнее время на равнинных реках основные бетонные сооружения полностью (Сталинградский гидроузел) или частично (Куйбышевский гидроузел) располагаются на пойме, а русло перекрывается земляной плотиной, обычно намывной. Этот способ впервые разработан и получил широкое применение в СССР.

При пойменном способе нужно построить либо одну только перемычку, если все сооружения гидроузла располагаются на одном берегу, либо две

при расположении гидроузла на двух берегах. Первое решение имеет ряд преимуществ в строительном отношении: все вспомогательные сооружения располагаются на одной площадке и число их может быть сокращено, уменьшается число дорог и других коммуникаций, удешевляются и упрощаются перемычки, а срок их возведения, от которого зависит срок окончания гидроузла, сокращается. Например, 1 пог. *м* русловой правобережной перемычки Куйбышевгидростроя стоил в 18 раз дороже, чем левобережной пойменной, удельный расход грунта в ней был в три раза больше, чем в левобережной, удельный расход каменных материалов в 63 раза больше. На 1 пог. *м* правобережной перемычки израсходовано 6,5 *т* шпунта, а левобережная перемычка построена без шпунта.

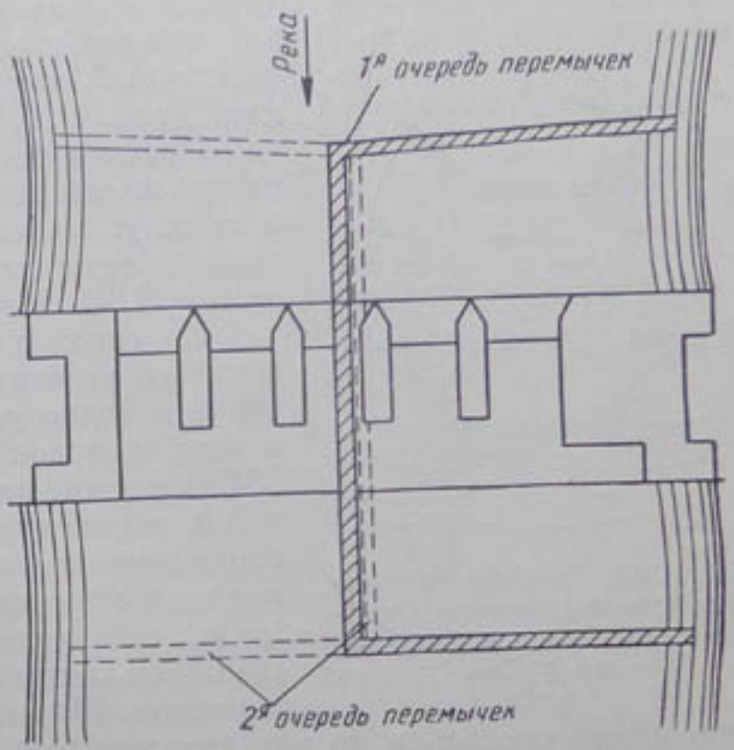


Рис. 345. Расположение перемычек при двухсекционном способе постройки плотины.

Для постройки секционным способом земляной плотины необходимо, чтобы в первую секцию входил водоспуск, через который будет пропускаться строительный расход при постройке плотины, входящей во вторую секцию. Однако сопряжение частей земляной плотины, возведенных в разное время и до разных отметок, затруднительно и является слабым местом сооружения. Поэтому возведение земляных плотин в русле реки секционным способом нельзя рекомендовать.

Секционный способ получил широкое распространение на средних и крупных гидроузлах; он является единственно применимым на судоходных реках и реках с крупными ледоходами.

При секционном способе работ возводится три перемычки—верховая, низовая и продольная. Гребень верховой перемычки назначается с учетом подпора воды z в реке вследствие стеснения русла; этот подпор можно определить по формуле:

$$z = \frac{1}{\varphi^2}\frac{v_{сж}^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g}, \qquad (126)$$

где $v_{сж}$ и v_0 — скорости в сжатом и в нестесненном сечениях;

φ — коэффициент скорости, который можно принимать равным 0,90 — 0,95.

Разбивка на секции должна быть произведена с таким расчетом, чтобы скорости течения воды вдоль продольной перемычки не могли вызвать опасных подмывов; это достигается устройством крепления вдоль продольной перемычки, или предусматриванием в конструкции продольной перемычки возможности образования безопасных подмывов (например, забивка шпунтов ниже зоны подмыва), или путем устройства отбойных оголовков в головах перемычек (Куйбышевский, Сталинградский гидроузлы), оказавшихся весьма эффективными.

При устройстве секционных перемычек на судоходной реке скорости в сжатом сечении не должны превосходить 1,8 *м/сек*; если в наводок применяют буксиры, то скорость может быть повышена до 2,6 *м/сек*.

При лесосплаве на реке можно принимать скорость 2,5—3 *м/сек* или даже несколько выше.

Продольная перемычка обычно параллельна оси потока. Верховую и низовую поперечные перемычки располагают, как правило, под углом к оси потока для уменьшения водоворотов и связанных с ними подмывов; при перпендикулярном к оси потока расположении поперечных перемычек водовороты неизбежны. Поэтому верховым и низовым перемычкам обычно придают обтекаемую форму, причем для лучшего обтекания продольные перемычки продолжают в виде направляющих дамб (рис. 346, *а*).

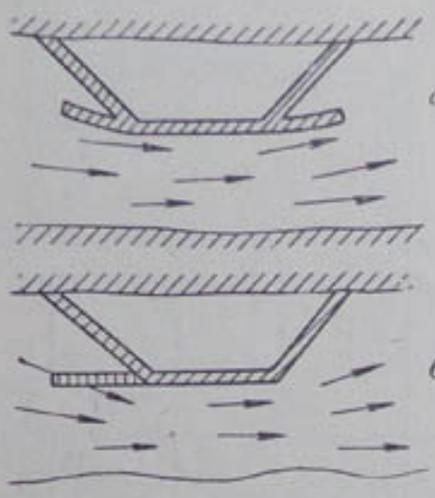


Рис. 346. Способы улучшения условий движения потока в стесненном перемычками русле.

Полезно также для выравнивания донных скоростей на стесненном участке, и особенно при входе в него, устраивать у верхнего угла перемычки проницаемую для воды дамбу, названную автором ее С. В. Избашем глушителем (рис. 346, *б*).

На реках с большим ледоходом для защиты верхнего угла продольной перемычки от повреждений нередко устраивают еще специальные оголовки; оголовок на строительстве Сталинградской ГЭС показан на рисунке 347; он представляет собой выдвинутое в реку ячеистое шпунтовое ограждение из шпунта ШП-1, состоящее из 22 цилиндрических шпунтовых ячеек диаметром 16 и 14 *м*, соединенных между собой двусторонними соединительными козырьками по 15—18 шпунтов в каждом. Шпунтовые ячейки загружены песчано-гравийной смесью, а по контуру ячеистой части оголовка устроено крепление в виде глубокого железобетонного тюфяка из плит 1,5×1,5 *м*, толщиной 0,3 и 0,5 *м*, на слое щебеночного обратного фильтра толщиной 1 *м*. Откос со стороны реки укреплен каменной отсыпкой на слое щебня.

Верховой оголовок правобережной перемычки, конструктивно связанный с продольной и верховой перемычками Куйбышевского гидроузла

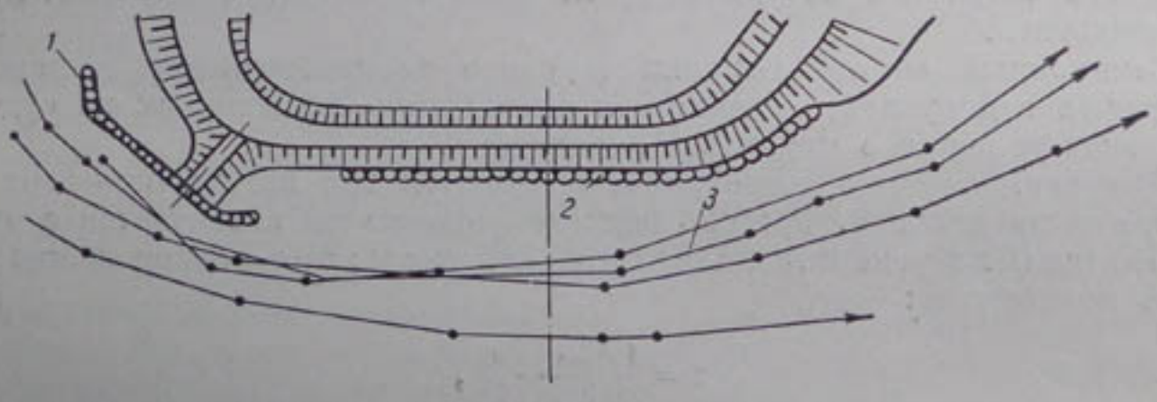


Рис. 347. Продольная перемычка и оголовок из цилиндрических ячеек на строительстве Сталинградского гидроузла:
1—оголовок; *2*—продольная перемычка; *3*—траектории струй.

(рис. 348), представляет собой мощную каменную отсыпь, выдвинутую в сторону русла по отношению к продольной перемычке более чем на 70 *м*. Для лучшего сопротивления воздействию больших скоростей поверхность оголовка покрыта наброской из крупного несортированного камня толщиной местами 4—5 *м* и больше; основание оголовка укреплено каменной наброской толщиной 1 *м*. В теле оголовка поставлено восемь круглоцилиндрических ячеек диаметром 20 *м* из шпунтов ШП-1, выполненных на случай разрушения каменной наброски (такого случая не было). В результате отклонения оголовком потока в сторону левого берега вдоль продольной перемычки скорости были меньше 1 *м/сек*, хотя в обтекающем оголовок потоке скорости доходили до 3,5—4 *м/сек*. Отрицательное влияние оголовка сказалось в размыве левого берега отклоненными в его сторону струями. Такое же действие оголовка имело место и на Сталинградском гидроузле.

Оголовок левобережной перемычки Куйбышевского гидроузла, расположенной на пойме и работавшей в более легких условиях, чем право-

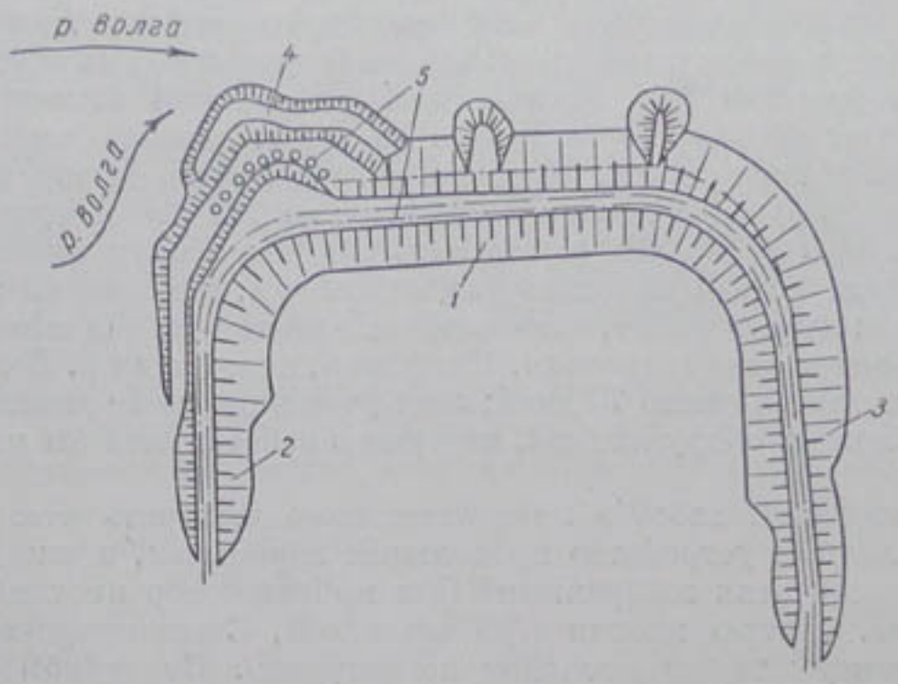


Рис. 348. План правобережной перемычки Куйбышевского гидроузла с показанием оголовка:

1—продольная перемычка; *2*—верховая перемычка; *3*—низовая перемычка; *4*—оголовок; *5*—шпунтовые ряды.

бережная, имел более простую конструкцию. Откосы оголовка были укреплены только отсыпкой карьерной мелочи слоем 0,3 *м*; кроме того, было отсыпано три пирса (оголовка) из камня и из песка (рис. 349).

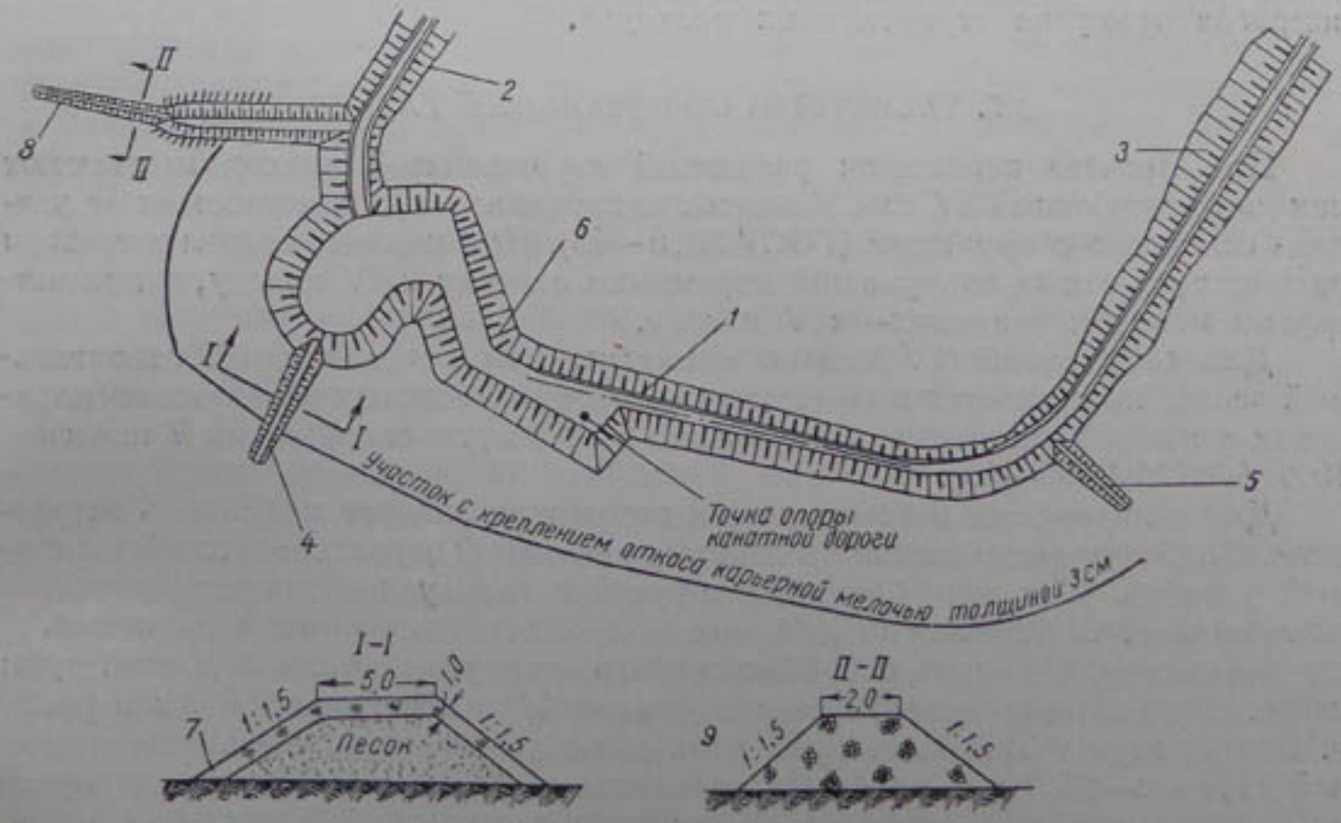


Рис. 349. План продольной, верховой, низовой перемычек левого берега Куйбышевского гидроузла:

1—продольная перемычка; *2*—верховая перемычка; *3*—низовая перемычка; *4*—верхний пирс; *5*—нижний пирс; *6*—лицевая грань устоя; *7*—поперечный разрез по верхнему пирсу; *8*—верхний пирс; *9*—поперечное сечение верхнего пирса.

Продольная перемычка Горьковского гидроузла, выполненная из шпунтовых ячеек диаметром 6,75 *м*, забитых на глубину 6,75 *м*, не имела специального оголовка, а для создания благоприятного режима в зоне верхо-

вой перемычки ячеистый продольный шпунтовый ряд был продлен вверх по течению на 18,4 *м*.

Стеснение русла рек на практике изменяется от 30 до 65%; ширина стесненной части русла должна быть достаточной для пропуска судов и ледохода.

Перемычки устраивают обычно незатопляемыми и под их защитой работы производятся круглый год. Иногда для уменьшения высоты перемычек предусматривают затопление котлована во время паводка через специальные отверстия в перемычках. Паводок в этом случае пропускается через стесненную часть русла и поверх перемычек; на это время приходится прекращать работы в котловане и вывозить заранее оборудование.

Такой метод нельзя признать рациональным, так как он значительно сокращает срок летних работ, более производительных, чем зимних, и удлиняет срок строительства гидроузла. Например, паводок на р. Волге в районе г. Куйбышева длится около 70 дней; если учесть время на демонтаж, вывозку и новый монтаж оборудования, перерыв в работах был бы много больше 70 дней.

При секционном способе предпочтительно выбирать створы с островами, что облегчает устройство продольных перемычек, а иногда и исключает их. С учетом этих соображений был выбран створ плотины Днепрогэс имени Ленина. Створы плотин Куйбышевской, Сталинградской, Горьковской гидростанций также проходят по островам. Во всяком случае, при секционном способе по условиям пропуска строительных расходов далеко не всегда выгодно выбирать наиболее узкие створы[1].

Если постройка гидроузла длится несколько лет, то сопряжения продольной и верховой перемычек должны быть защищены от действия льда и навала плотов (на судоходных и сплавных реках).

Выбор рациональной схемы отвода воды весьма важен с точки зрения сокращения срока строительства и удешевления работ. Поэтому в состав изысканий под гидроузлы должны включаться исследования для решения вопросов пропуска строительных расходов.

§ 2. РАСЧЕТНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ РАСХОД

При расчете перемычек расчетный строительный расход принимают как для сооружений IV или V класса капитальности, в зависимости от разряда основного сооружения (ГОСТ 3315—46). При первом, втором и третьем разрядах основных сооружений перемычки относят к IV классу, а при четвертом и пятом разрядах—к V классу.

Для сооружений IV класса капитальности максимальный строительный расход принимается при нормальных и чрезвычайных условиях эксплуатации с обеспеченностью соответственно в 5%, а для сооружений V класса 10% (ГОСТ 3999—48).

Для многолетних незатопляемых перемычек следует принимать за расчетный либо горизонт весеннего паводка указанной вероятности, либо зажорный уровень. Так как постройка крупных гидроузлов продолжается несколько лет, то перемычки для них получаются высокими и дорогими.

Например, перемычки Куйбышевского гидроузла стоили 97,2 млн. руб.; на долю перемычки правого берега длиной 1,8 *км* (из них 1,4 *км* в русле р. Волги) падает 71,4 млн. руб., а на долю левобережных пойменных длиной 11,5 *км*—25,8 млн. руб. На строительстве Сталинградского гидроузла на перемычки общей длиной 21,6 *км* израсходовано 82,8 млн. руб.

Постройку небольших и средних гидроузлов весьма выгодно заканчивать в период от конца одного паводка до начала следующего, так как в этом случае расчетный расход (летний или осенний паводок), а следовательно, и высота перемычек значительно уменьшаются; упрощается отвод строительного расхода, сокращаются связанные с этим затраты.

[1] А. В. Гришин. Пропуск строительных расходов и ограждение котлованов при строительстве гидроузлов. Госэнергоиздат, М.—Л., 1950.

Глава XXVII

ПЕРЕМЫЧКИ

§ 1. УСЛОВИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ И ТИПЫ ПЕРЕМЫЧЕК

Основные требования, предъявляемые к перемычкам, сводятся к следующему.

Конструкция и выполнение перемычек должны обеспечивать надлежащую их устойчивость, прочность и вместе с тем достаточную водонепроницаемость. Отход от этих основных требований обычно влечет за собой аварии перемычек и значительное увеличение расхода поступающей в котлован воды, а следовательно, необходимость усиленной откачки. Это наблюдалось на многих стройках.

Конструкция перемычек должна быть несложной: нужно предусмотреть возможность быстрого их возведения, ремонта и разборки, а также некоторого наращивания по высоте. Они должны быть защищены от действия льда, навала судов и плотов, достаточно глубоко врезаны в дно и берега реки. Эти сопряжения являются слабыми местами, поэтому здесь необходимо предусмотреть наибольшую надежность.

Между границами котлована и перемычками следует оставлять промежуток, достаточный для размещения водоотводных каналов, колодцев, насосов, складирования вынутого грунта и материалов, для проезда транспортных машин и механизмов, а также для дополнительных креплений перемычек (если в этом возникает необходимость).

Гребень перемычек должен возвышаться над расчетным горизонтом воды с учетом волнения и осадок перемычек; отметка гребня верховой перемычки должна учитывать также скоростной напор вследствие повышенных скоростей в сжатом сечении.

Перемычки необходимо также приспособить для размещения путей автомобильного и железнодорожного транспорта, причалов для судов, площадок для монтажа и складирования материалов; имея это в виду, назначают ширину перемычек по гребню. Перемычки Куйбышевгидростроя и Сталинградгидростроя сравнительно успешно использовались как вспомогательные сооружения для транспорта и складирования.

В перемычках нужно устраивать дренаж с низовой стороны для предотвращения вымыва грунта из их основания или тела в процессе фильтрации воды.

Применяют много различных типов перемычек. Выбор типа определяется рядом факторов и является весьма ответственным делом.

Геологические условия определяют прежде всего возможность забивки шпунтов, а следовательно, и тип перемычки. Имеет значение залегание на дне сильно проницаемых отложений. Это вынуждает либо убирать эти отложения, либо принимать специальные меры по борьбе с фильтрацией воды под перемычками (забивка шпунта или устройство цементационных и других завес под верховой и низовой перемычками).

Конструкция перемычки зависит от глубины воды при пропуске расчетных расходов: с увеличением глубины конструкция осложняется. На глубину воды существенно влияет срок производства работ: при односезонной постройке строительный расход и глубина воды получаются минимальными.

Конструкция перемычки в большой мере зависит от схемы гидроузла; например, при расположении гидростанции и водосливной плотины на пойме и перекрытии русла реки намывной земляной плотиной возможно по окончании части гидростанции, водосливной плотины, подводящего и отводящего каналов пропустить через них строительный расход. При таком расположении гидростанции и плотины резко снижаются затраты на перемычки по сравнению с расположением гидростанции и плотины в русле реки.

Наличие судоходства и сплава плотов обязывает либо принимать меры по защите перемычки от навала судов и плотов, либо ставить перед перемычкой охранные устройства, а также ограничивать скорость течения в сжатом сечении.

§ 2. ЗЕМЛЯНЫЕ ПЕРЕМЫЧКИ

Земляные насыпные перемычки применяют при напорах от 1,5 до 4 *м* и небольших скоростях течения—0,5—0,7 *м/сек*. Ширина по гребню назначается из условий проезда не менее 2—2,5 *м*. Верховой откос 1 : 2,5—1 : 3, низовой 1 : 1—1 : 2,5. Запас в высоте перемычек 0,50—1 *м* (рис. 350). Часть верхового откоса в пределах действия волнения, размывов и льда защищают фашинами, мешками с грунтом, дерном, каменной наброской. Наиболее подходящими грунтами для перемычек являются пески или супеси с галькой, потому что они легко уплотняются в воде и держат более крутые откосы, чем глинистые грунты. Так как перемычка производится

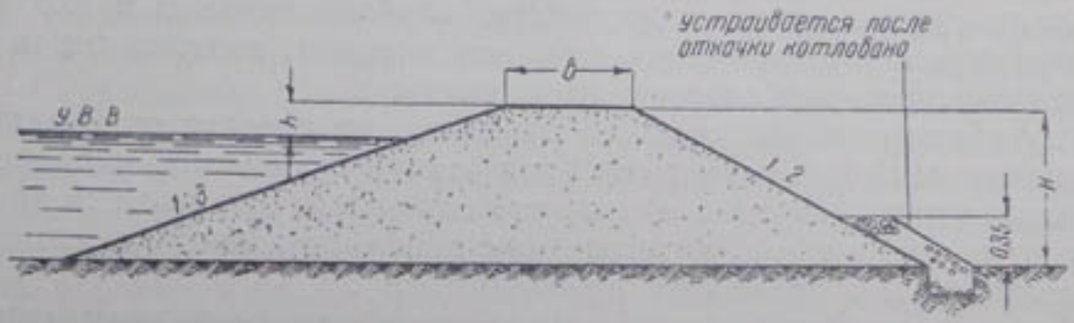


Рис. 350. Земляная насыпная перемычка.

отсыпкой грунта в воду, то подводная часть ее не может быть сразу уплотнена, и кривая депрессии проходит высоко. Во избежание оплывов низового откоса следует устраивать дренажную призму из камня, а низовой откос прикрывать более крупным материалом. Несоблюдение этого требования может привести к оплыванию низового откоса в начале откачки. Для уменьшения фильтрации внутри земляной перемычки иногда устраивают диафрагму из мешков, на две трети наполненных глиной.

Перелив воды через земляные перемычки недопустим.

При постройке Асуанской и Асиутской плотин в Объединенной Арабской Республике перемычки высотой от 9 до 17 *м* возводились из мешков с песком. Низовой откос был 1 : 0,5, а верховой 1 : 1,5. Мешки укладывались водолазами. Такие перемычки значительно дороже земляных.

Мешками с землей можно пользоваться для смыкания перемычки, если она возводится с обоих берегов.

Нужно иметь запас мешков и на действующих земляных перемычках на случай необходимости быстрого их наращивания, ремонта или локализации аварии.

Верховую и низовую перемычки можно возводить с временных эстакад сейчас же после отвода реки. На реках с быстрым течением для создания тиховоди желательно выше или ниже перемычек делать отсыпку из каменной наброски. Если река по проекту перегораживается земляной плотиной, то в качестве каменной наброски можно отсыпать дренажную призму. Земляные перемычки можно возводить методом гидромеханизации пионерным способом. В последнее время перемычки начали возводить взрывным способом с направленным выбросом.

Постройку земляных перемычек можно вести при скоростях течения не более 0,7 *м/сек*, при больших скоростях земляные перемычки можно насыпать лишь в тиховоди, отгороженной каменным банкетом или плетнями и с отводом воды от выводимой перемычки.

В последнее время котлованы гидротехнических сооружений в несвязных грунтах начали разрабатывать земснарядами с намывом грунтов в огра-

ждающие котлован перемычки. Совмещение работ по разработке котлована и устрой ствуперемычек значительно сокращает срок строительства по сравнению с обычными способами, когда сначала строили перемычки, что занимало на крупных стройках по нескольку месяцев, затем откачивали воду из котлована и осушали его и только после этого начинали основные земляные работы по котловану. Впервые указанный прогрессивный метод был применен на постройке Цимлянского гидроузла, а в последующие годы полностью или частично на строительстве Куйбышевской, Сталинградской, Горьковской, Каховской и других гидростанций. В основе этого метода лежит использование мощных земснарядов.

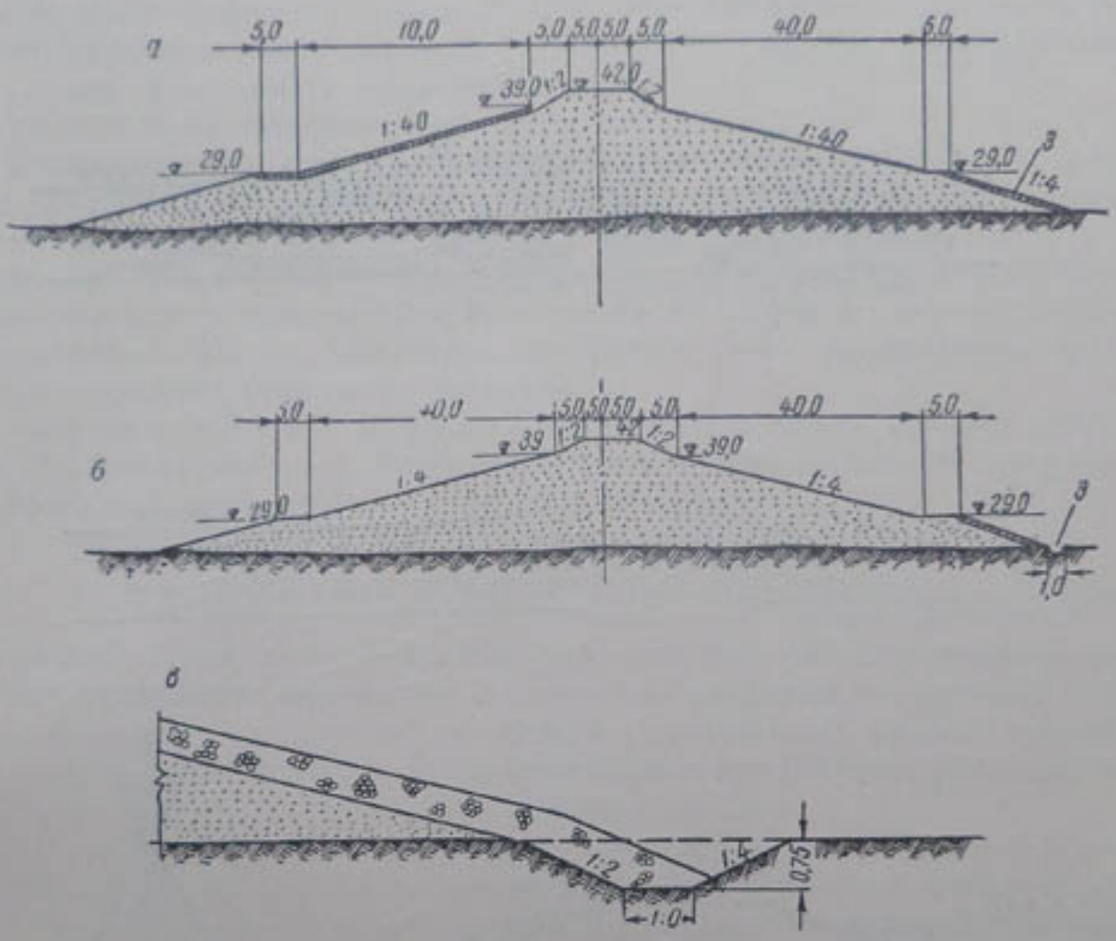


Рис. 351. Перемычки водосливной плотины и верхнего шлюза Куйбышевского гидроузла:

а—верховая перемычка; *б*—низовая перемычка; *в*—дренаж левобережной перемычки в районе р. Воложки.

На рисунке 351 показано поперечное сечение левобережной верховой и низовой перемычек Куйбышевгидростроя, большая часть которых выполнена намывом из песчаных грунтов. Высота перемычки 6—12 *м*, а на переходах через протоки и старицы она доходит до 22 *м*. Верховой ломаный откос сначала 1 : 4, затем 1 : 2, с низовой стороны устраивался насыпной двухслойный обратный фильтр. В местах, подверженных волновому воздействию, откос защищен отсыпкой несортированного камня слоем 0,2—0,3 *м*. При высоте перемычек больше 12 *м* устраивалась берма шириной 12 *м*.

На Сталинградском и Горьковском гидроузлах перемычки выполнены главным образом намывом из песков, полученных при разработке котлованов; конструкция их отличается только шириной по гребню и заложением откосов.

Продольные перемычки Сталинградской (рис. 352, *а*) и Горьковской гидростанций возведены также намывными из мелкозернистых песков. Напорный откос продольной перемычки Сталинградгидростроя укреплен каменной отсыпкой слоем в 0,36 *м* и имеет берму шириной 100—120 *м*, на которой устроены цилиндрические ячейки из стальных шпунтов диаметром 10 *м*; общая длина ячеек 800 *м*; они предусмотрены как мера защиты осно-

вания откосов от размыва. Учитывая струеотклоняющее действие оголовка перед перемычкой, обеспечившее тиховодье около продольной перемычки

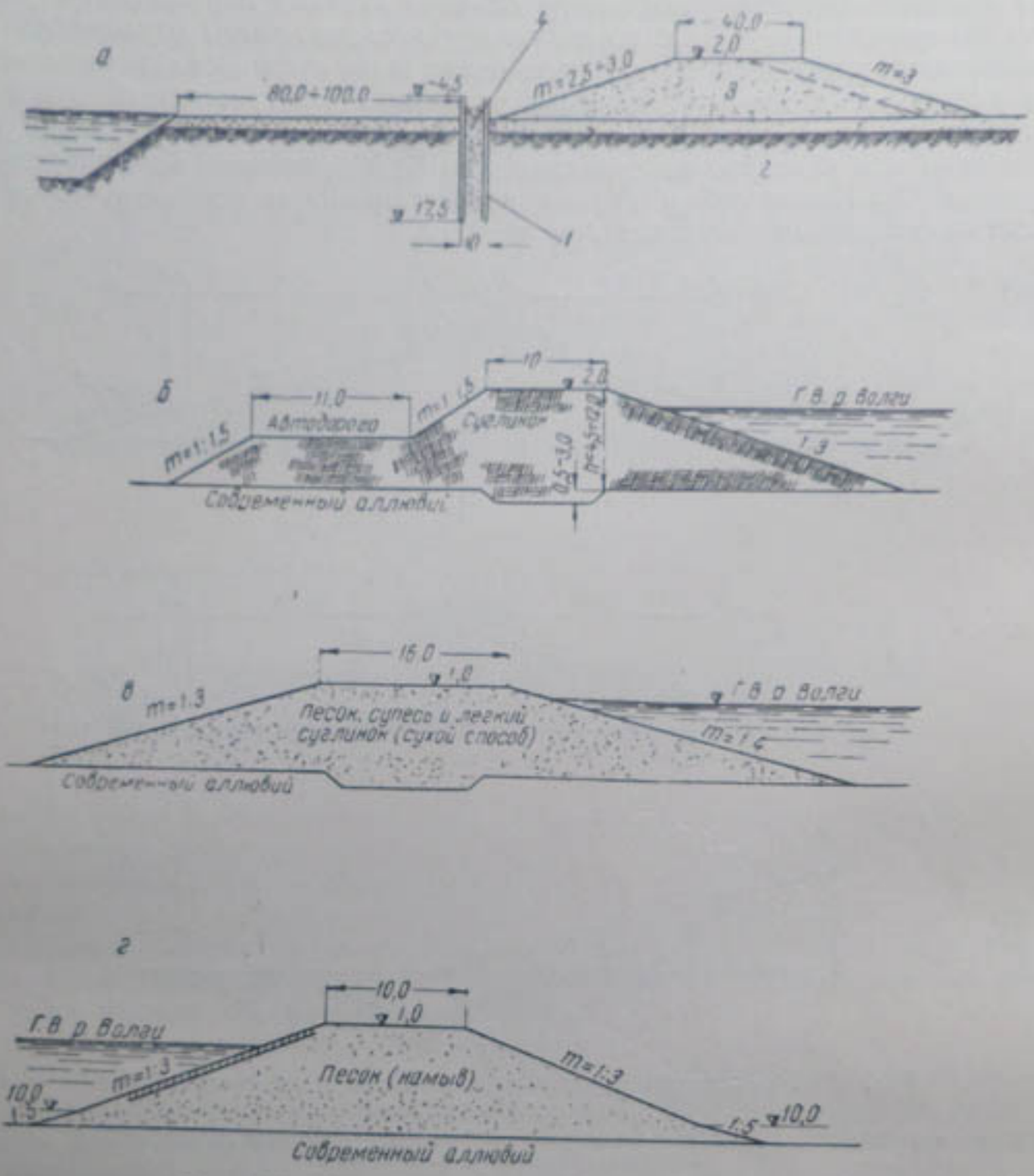


Рис. 352. Перемычки Сталинградского гидроузла:

а—поперечный разрез продольной перемычки: *1*—металлический ячеистый шпунт; *2*—современный аллювий (песок); *3*—намыв песка; *4*—песчано-гравийная засыпка. *б*—поперечный разрез верховой перемычки. *в*—поперечный разрез низовой перемычки. *г*—поперечный разрез перемычки через р. Ахтубу.

и частично циркуляционное движение с небольшими скоростями, можно полагать, что устройство ячеистого шпунтового ограждения представляло известный запас.

§ 3. ПЕРЕМЫЧКИ ИЗ КАМЕННОЙ НАБРОСКИ

Крупные камни для наброски перемычки сбрасывают в текущую воду либо с эстакад, либо с шаланд, либо пионерным способом. Так как каменные отсыпи сильно фильтруют, то с напорной стороны верховой перемычки делают земляную отсыпку для предупреждения выноса грунта, а с внутренней стороны низовой перемычки устраивают обратный фильтр (рис. 353).

Перемычки из каменной наброски с трудом поддаются разборке, поэтому их рационально применять лишь в тех случаях, когда перемычки (или хотя бы одна из них) входят в состав сооружения. Непременное условие, конечно,—наличие дешевого камня из местных карьеров.

При постройке, например, Палокоргской плотины ограничились возведением только низовой перемычки с обратным фильтром, после чего расход реки был пропущен через водосброс; остальная часть плотины возводилась сбрасыванием грунта в образовавшуюся тиховодь.

При наброске камня в текущую воду следует применять сначала мелкий камень, а затем, по мере нарастания перепада, более крупный.

При скоростях больше 3 *м/сек* перекрытие реки обычной каменной наброской делается невозможным; в этом случае применяют крупные камни или бетонные массивы.

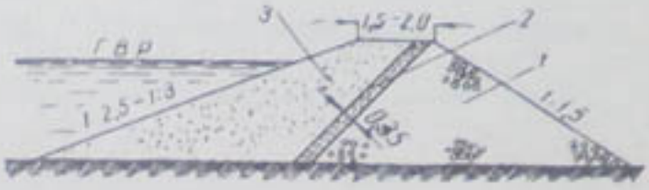


Рис. 353. Перемычка из каменной наброски: *1*—каменная наброска; *2*—обратный фильтр; *3*—пригрузка из грунта.

Достоинство перемычек из каменной наброски заключается в возможности их постройки при больших скоростях течения в реке. Так, набросная перемычка Свирской плотины строилась при скоростях 2,85—4,20 *м/сек*. При скоростях более 3 *м/сек* начался размыв каменной наброски, поэтому остальная часть перемычки была выполнена из заранее заготовленных бетонных массивов. После окончания наброски была произведена отсыпка в воду трехслойного обратного фильтра.

Из каменной наброски запроектированы перемычки высотой до 13 *м*.

При строительстве на р. Роне применялось сбрасывание в воду заанкеренных бетонных тетраэдров.

§ 4. СИПАЙНЫЕ И КАРАБУРНЫЕ ПЕРЕМЫЧКИ

В Средней Азии и в Завказье для защитно-регулировочных работ, а также для устройства перемычек в руслах с большими скоростями течения и при размываемых руслах применяют сипайные и карабурные перемычки при напорах до 5 *м*.

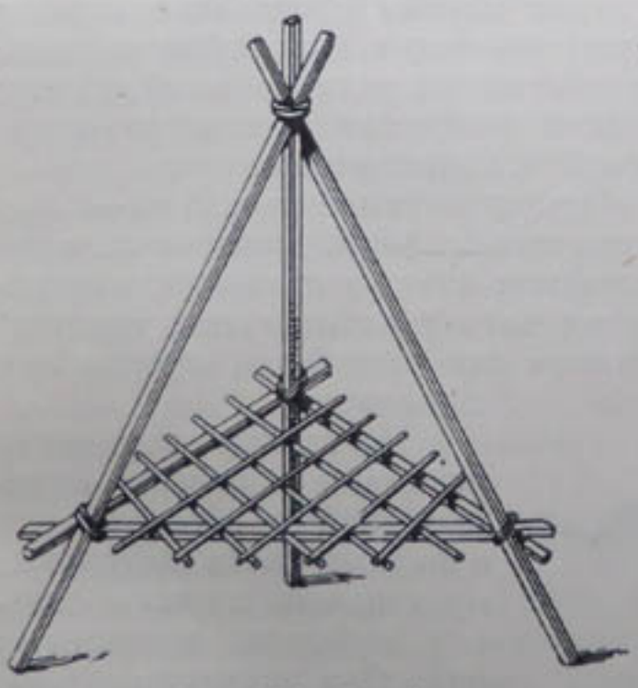


Рис. 354. Сипай.

Сипайные перемычки устраивают на реках с большой глубиной и скоростями течения до 4 *м/сек*. Они состоят из бревенчатых (диаметром 15—25 *см*) каркасов в виде треног (рис. 354) или четырехног и уложенной на них каменно-хворостяной кладки. Каркасы, мало стесняющие сечение реки, можно без особых затруднений устанавливать при больших скоростях течения. Вверху каркасы соединяют проволокой, а внизу закрепляют бревенчатой обвязкой, располагаемой выше горизонта воды. На обвязке укладывают жерди, поверх которых настилают слои камыша или соломы и камня. По мере загрузки ноги сипаев погружаются до уровня обвязки, кладка на которой наращивается до необходимой высоты. При мутной воде сипайная кладка быстро кольматируется.

Карабурные перемычки применяют при скоростях течения до 2—2,5 *м/сек*.

Карабуры—тяжелые фашины—из хвороста или камыша диаметром 0,7—2 *м* и длиной до 10 *м* и загружают камнем, дерном или глиной и перевязывают проволокой. Их делают на берегу, на площадке с уклоном к реке, последовательно укладывая слои хвороста или камыша, дерна, глины или камня. Затем уложенный материал медленно скатывают по уклону вниз,

Рис. 355. Шпунтовые перемычки:
а—однорядная; *б*—двухрядная: *в*—стальная двухшпунтовая; *г*—стальная двухшпунтовая: *1*—тяги; *2*—стальной шпунт; *3*—дренаж.

свертывая при этом в фашины, которые обвязывают проволокой (три обвязки на 1 *м* длины фашины). Готовые карабуры скатывают в реку. Кладку перемычек ведут на полную высоту, начиная с берега.

§ 5. ШПУНТОВЫЕ ПЕРЕМЫЧКИ

Однорядные шпунтовые перемычки (рис. 355,*а*) применяют при высоте их над дном реки до 4 *м* и при грунтах основания, допускающих бойку свай.

Шпунт забивают из досок или брусьев толщиной от 7,5 до 18 *см* на глубину около $^1/_3$ длины шпунта, если по условиям водонепроницаемости не требуется более глубокая забивка. Шпунт делают с треугольным или прямоугольным пазом: шпунты с треугольным пазом применяют лишь при перемычках небольшой высоты (до 2,5 *м*). Практика работ на Северном Донце показала, что более правильным и осторожным является применение шпунтин толщиной не менее 13—14 *см* с прямоугольным пазом и гребнем и глубиной забивки не менее 3 *м*. Низ (острие) свай делают в виде скоса для прижима забиваемой сваи к ранее забитой.

Шпунтовые сваи связывают одной или двумя парами продольных схваток и подпирают одним или двумя подкосами, врубленными в продольный лежень; последний упирается в короткие упорные свайки. С напорной стороны устраивают обсыпку шириной по верху 1—1,5 *м*. Обсыпка при больших скоростях течения размывается; поэтому однорядные шпунтовые перемычки не являются подходящим типом для устройства продольных перемычек.

Постройку перемычки начинают с забивки маячных свай с эстакады или с шаланд; после постановки продольных парных схваток забивают шпунтовый ряд. При песчаном русле, когда приостанавливают забивку шпунтового ряда, происходит подмыв конца его, доходивший, например, на Северном Донце до 1,2—1,3 *м* за ночь. Поэтому забивку шпунтов необходимо вести без перерывов и предпринимать меры против подмыва. Обсыпку надо выполнять интенсивно, во избежание больших потерь на вынос грунта. Так, на Северном Донце при разгрузке одной вагонетки течением уносился весь грунт, поэтому обсыпка велась поездом из 15—20 вагонеток.

Забивку шпунта однорядных шпунтовых перемычек при обычно небольших в таких случаях расходах и глубинах воды производят с эстакады.

Сваи для эстакады можно забивать вручную в три ряда с расстоянием в рядах между сваями 2,5—3 *м*. Сваи соединяют насадками и по ним устраивают настил для прохода копра. Прежде всего забивают маячные сваи по всему контуру перемычки, затем забивают шпунт продольной перемычки и после этого шпунт верховой и низовой перемычек.

Отсыпка за шпунт производится либо вслед за забивкой шпунта с небольшим отступлением во времени (что целесообразнее), либо сразу по всему фронту.

Двухрядные шпунтовые перемычки применяют при значительных глубинах воды в реке (4—8 *м*) и небольших скоростях течения воды, а также на реках с ледоходом (рис. 355, *б*).

Направляющие круглые сваи из бревен диаметром 25—30 *см* забивают через 1,5—2,5 *м* и связывают парными продольными направляющими схватками; при высоких перемычках ставят вторые направляющие на уровне рабочего горизонта. Оба ряда направляющих свай соединяют парными поперечинами, соединяемыми болтами. Около направляющих свай устанавливают маячные сваи, между которыми и забивают шпунт на глубину 3—4 *м*. На уровне рабочего горизонта иногда также устанавливают поперечные схватки, которые, однако, для уменьшения фильтрации делают из железа, а не из дерева.

В зависимости от высоты перемычки направляющие сваи делают из одной, двух или трех свай, что определяется расчетом. Обыкновенно при глубине до 3 *м* достаточно одиночной сваи, при глубине от 3 до 5 *м* забивают двойные сваи, а при глубине до 8 *м* тройные. Сваи одного куста скрепляют хомутами и болтами. Ширину перемычки принимают от 1,2 до 1,4 величины напора. Засыпку делают песчано-глинистым грунтом или песком, если в нем содержится достаточное количество мелких частиц. Обычный речной песок с илом является хорошим материалом для загрузки. У внутренней подошвы низового шпунтового ряда целесообразно после откачки воды или постройки перемычки устраивать путем отсыпки в воду дренажную призму в виде обратного фильтра. Иногда перемычки обсыпают грунтом с обеих сторон, а при отсутствии отсыпки с внутренней стороны нередко ставят подкосы или усиления шпунтового ряда.

В поперечных перемычках, возводимых на песчаных грунтах, происходит подмыв шпунтового ряда; поэтому забивку шпунта необходимо вести форсированно и одновременно производить засыпку перемычки. Брусчатые сваи снабжают бугелями и башмаками и нередко соединяют по 2—3 сваи в один пакет; дощатые сваи забивают без бугелей и башмаков.

При высоких перемычках в целях сокращения длины применяемого лесоматериала шпунтовый ряд заканчивают на уровне рабочего горизонта, а выше наращивают перемычку горизонтальным шпунтом, подпираемым подкосами.

Шпунты двухрядных перемычек, вследствие больших глубин воды, забивают обычно не с эстакады, а плавучими копрами или кранами. Плавучим копром бьют маячные сваи, а шпунт—копром с временной эстакады, устроенной на насадках, соединяющих маячные сваи, а на поперечных схватках между маячными сваями. Обычно забивают пакеты по 2—3 шпунтины.

Стальные двухрядные шпунтовые перемычки (рис. 355, *в*) применяют при глубине воды 10—12 *см* и более. На уровне воды, а иногда и под водой шпунтовые ряды стягиваются через 2,5—3 *м* стальными тяжами. Иногда для жесткости ставят поперечные шпунтовые диафрагмы через 3—4 ширины шпунтовой перемычки.

§ 6. КАРКАСНО-ШПУНТОВЫЕ ПЕРЕМЫЧКИ

Каркас состоит из отдельных звеньев длиной по 6 *м*, шарнирно связанных друг с другом. Каркас каждого звена состоит из шести парных продольных схваток, по три с каждой стороны, и из восьми прикрепленных

к ним болтами маячных свай, по 4 с каждой стороны (рис. 356, *а*). По концам звена устанавливают временные дощатые раскосы. К нижним парным схваткам прикрепляют костылями рельсы, создающие жесткость каркаса в поперечном направлении и облегчающие установку каркаса на дно.

Как раскосы, так и рельсы в процессе засыпки убирают. Каждую из продольных парных схваток звена соединяют простым шарниром с продольными схватками соседних звеньев (рис. 356, *б*). После погружения каркаса между маячными сваями набирают шпунтованные доски и забивают до скалистого дна ручной бабой. Затем производят засыпку песком внутри звеньев и обсыпку их снаружи камнем или гравелистым грунтом; засыпку

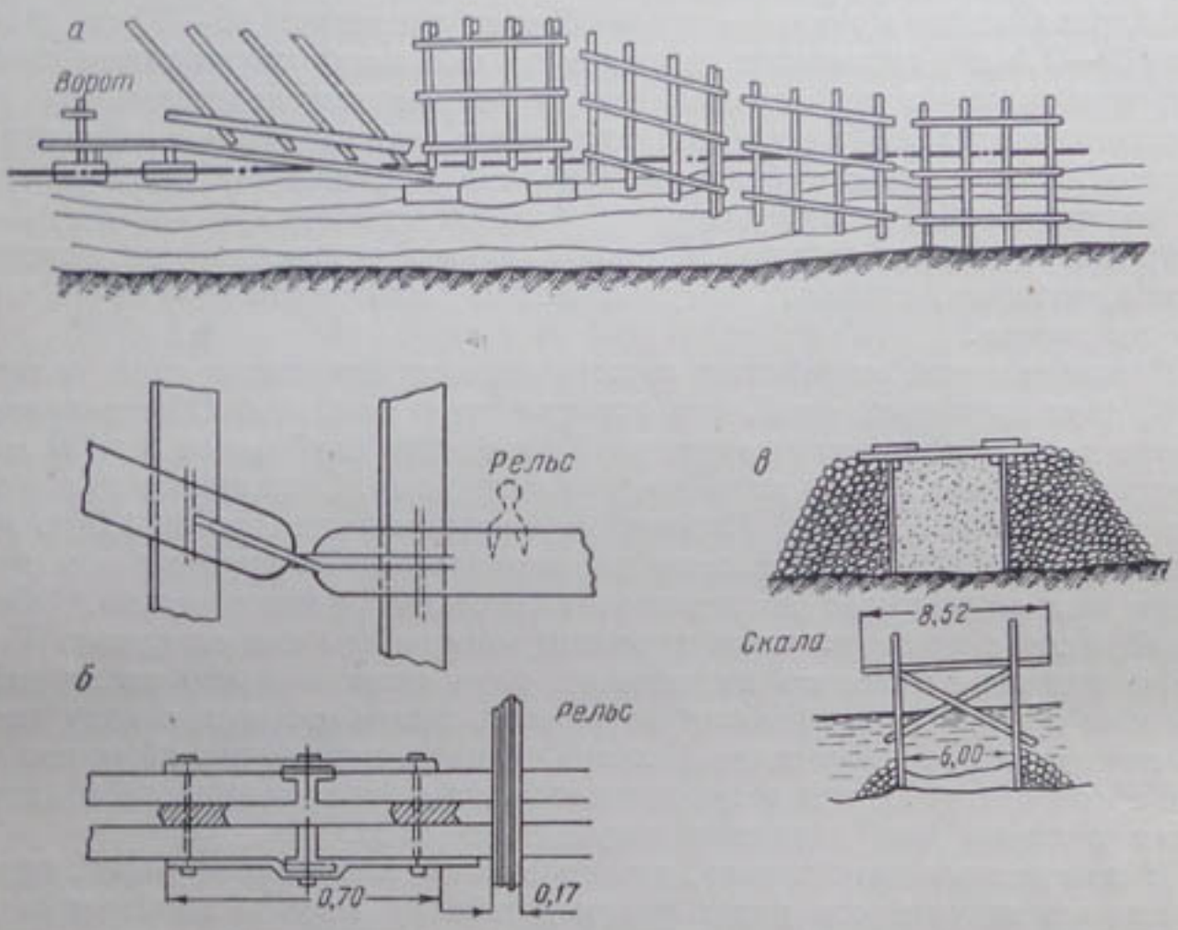


Рис. 356. Каркасно-шпунтовые перемычки:
а—опускание отдельных звеньев перемычки; *б*—шарнирное соединение звеньев *в*—перемычка в готовом виде.

и обсыпку ведут одновременно с таким расчетом, чтобы тонкие шпунтовые ряды имели одинаковую нагрузку с обеих сторон и не подвергались изгибу. Общий вид готовой перемычки до и после засыпки показан на рисунке 356, *в*. После засыпки и обсыпки перемычки до полного профиля шпунт осаживают вновь для обеспечения более плотного соприкосновения со скальным основанием.

Углы перемычки устраивают из ряжей, с установки которых и начинается постройка перемычки. Каркасные перемычки можно устанавливать при довольно больших скоростях течения; для предупреждения сноса во время сборки каркасы заякоривают. На Волховстрое при скоростях течения до 1,5 *м/сек* погружение перемычки происходило без затруднений.

Каркасно-шпунтовые перемычки строят на глубинах до 5—6 *м*; их можно применять как при скальных, так и при нескальных грунтах. На Волховстрое временная односезонная перемычка этого типа была высотой 8 *м*.

Опыт применения каркасно-шпунтовых перемычек показал простоту сборки, установки и разбивки их, сравнительную дешевизну и достаточную прочность при удовлетворительной водонепроницаемости.

Постройку каркасных перемычек начинают с того, что натягивают две линии тросов в качестве направляющих движения плота, с которого опускают звенья перемычки. Тросы закрепляют на опорных островках из ряжей, устанавливаемых в первую очередь. На плот ставят четыре ворота, на которые завертывают тросы. При вращении воротов плот передвигается. Плоты ставят на якори, что предохраняет их от уноса.

Установку звеньев начинают с опорных островков. Под первое звено каркаса из парных схваток, шарнирно прикрепленных к островку, и из маячных направляющих свай подводится плот и на нем собирают первое звено; к парным схваткам первого звена шарнирно присоединяют схватки второго звена. Затем плот выводится из-под собранного звена и последнее, пригруженное рельсами, опускается, принимая вид параллелограмма. После этого на плоту собирают и опускают второе звено и т. д.

Установленный остов перемычки засыпают равномерно изнутри и снаружи, причем по мере засыпки убирают рельсы и раскосы. Грунт подвозят по мосткам на эстакады или намывают рефулированием. По доведении засыпки и обсыпки до полного профиля шпунтовые доски добивают вторично.

§ 7. РЯЖЕВЫЕ ПЕРЕМЫЧКИ

Ряжевые перемычки в конструктивном отношении значительно лучше шпунтовых или каркасных. Ряжи ставят в перемычках с напором до 20 *м*, когда строение дна реки (скала, крупные валуны, гравий) не допускает забивку свай и шпунтов. Ряжевые перемычки возводят в тех случаях, когда они должны работать несколько лет, быть надежными при пропуске паводков и воздействии льда. Для уменьшения высоты перемычек иногда их устраивают затопляемыми во время паводка; в этом случае верх их укрепляют фашинами или камнем.

Ряж с засыпкой играет роль тяжелого скелета, сопротивляющегося сдвигу. Водонепроницаемость достигается либо забивкой шпунтового ряда с соответствующим уплотнением его пазов и щели между низом шпунта и скалой, либо присыпкой с напорной стороны малопроницаемого материала.

Применяют два типа ряжевых перемычек: широкие, обладающие самостоятельной устойчивостью против сдвига горизонтальными силами (рис. 357, *а*), и узкие, меньшей ширины, с присыпкой с одной или двух сторон камня, гравия или другого грунта (рис. 357, *б*).

Основным условием применения ряжевых перемычек является наличие дешевого леса и камня. Недостаток этих перемычек состоит в большой трудоемкости их возведения.

Ряжи перемычек делают либо со сплошными, либо со сквозными брусчатыми стенками (рис. 358). При ряжах сквозной рубки экономия лесоматериалов составляет 35—40%, а расход рабочей силы уменьшается почти вдвое. Ряжи сплошной рубки без просветов между венцами делают из бревен диаметром 20—22 *см*, сторона ячеек от 2 до 3 *м*. Углы ряжей соединяют в обло (чашку). В продольном направлении бревна сращивают шипами. Отдельные бревна соединяют друг с другом по длине через 2—2,5 *м* с помощью ершей или нагелей длиной, достаточной для скрепления трех брусьев. При пересечении стенок клеток ставят, кроме того, вертикальные сжимы, притесываемые к стенкам ряжа и присоединяемые к нему болтами диаметром 20 *мм*. Ширина отдельных ряжей на стройках достигает 26 *м*, длина 64 *м* и высота 22 *м*.

Сквозные стандартные брусчатые ряжи размерами в плане 6,4×6,4 и 8,5×6,4 *м* собирают из четырехкантных брусьев; размеры ряжей определяются условиями установки их кранами. Ряжи делают также из двухкантных бревен; угловые врубки отсутствуют, а брусья, накладываемые один на другой, соединяют в углах нагелями или глухарями длиной, достаточной для скрепления трех брусьев. Для возможности разборки ряжей отдельные бревна следует соединить не ершами, а нагелями. Отверстия

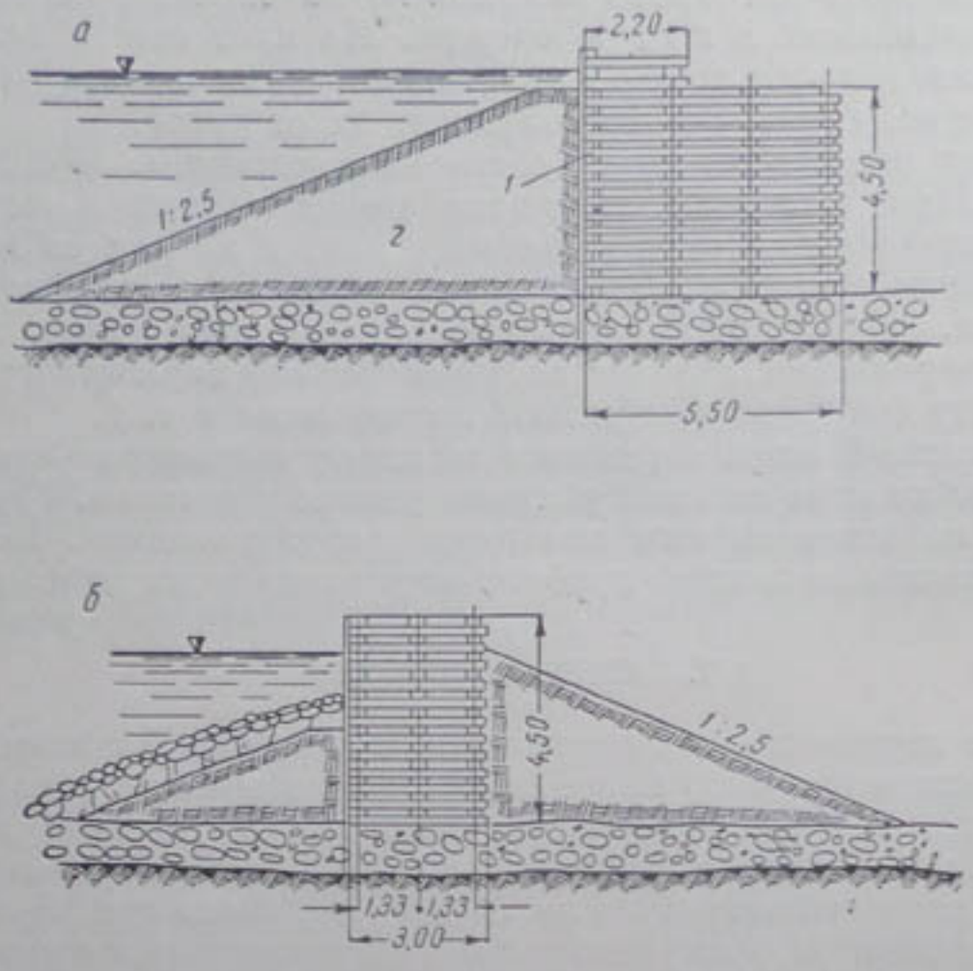


Рис. 357. Ряжевые перемычки:
а—широкие: *1*—деревянный шпунт; *2*—суглинистая отсыпка. *б*—узкие.

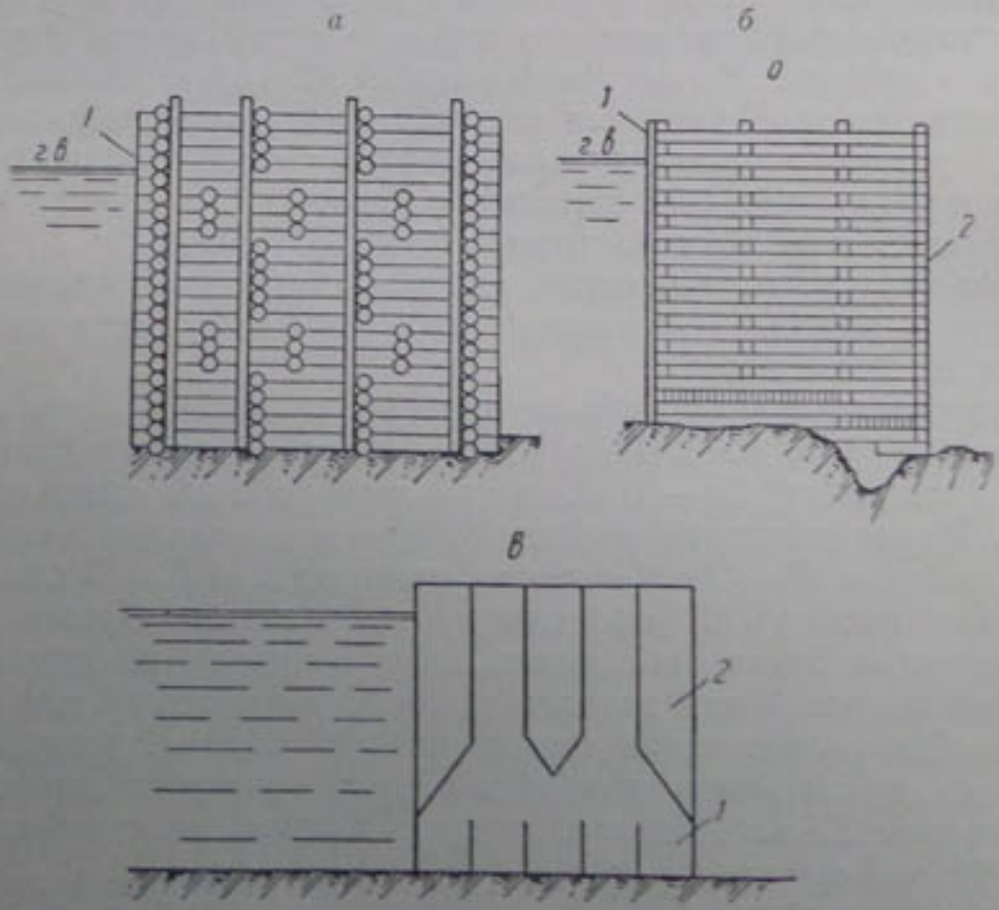


Рис. 358. Ряжи и карманы в ряжах:
а—ряжи со сплошными стенами; *б*—ряжи со связными брусчатыми стенами: *1*—шпунт напорной грани ряжа; *2*—выставные брусья для удержания загрузки. *в*—карманы в ряжах для загрузки камнем: *1*—ряжи; *2*—карманы.

для них делают длиннее нагелей, чтобы последние не мешали осадке ряжей. Под стыки брусьев укладывают коротыши, пришиваемые к концам брусьев нагелями. Для большей прочности ряжи усиливают сжимами на болтах. Отверстия для болтов делают с учетом возможной осадки ряжей в пределах 5%.

Ряжи рубят отдельными ячейками небольших размеров, образуемыми продольными и поперечными стенками; эти ячейки, называемые банками или клетками, обычно делают квадратными с размерами от 1,7×1,8 до 3,7×3,7 *м* или прямоугольными—до 2×4 *м*.

Перед опусканием ряжей тщательно промеряют дно (через 2 *м* или даже через 1 *м*), в соответствии с конфигурацией которого опиливают нижнюю часть приготовленного ряжа. Для возможности посадки ряжей на дно около 25% банок делают с днищем, загружаемым камнем при опускании.

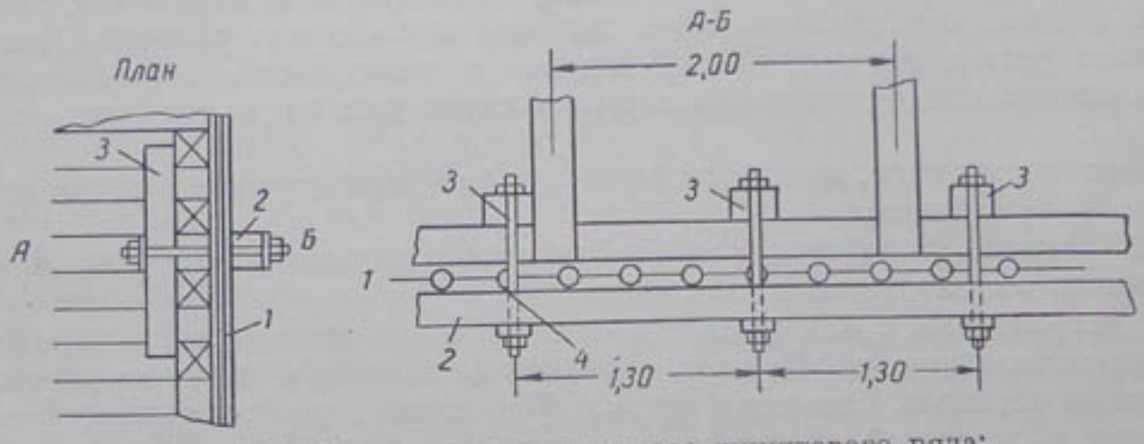


Рис. 359. Прикрепление стального шпунтового ряда:
1—шпунт; *2*—прижимной брус; *3*—сухарь; *4*—болт.

Ряжи нужно загружать сыпучими грунтами, свободно осаживающимися и не тянущими при этом ряжа за собой. Глинистых засыпок следует избегать, так как при большой и неравномерной осадке, свойственной таким грунтам, они тянут за собой ряжи и деформируют их. На одной из строек пришлось разобрать переходную ряжевую перемычку высотой 15 *м*, заполненную глинистым грунтом, так как она еще до вступления в работу дала просадку до 2 *м* по высоте и крен в сторону котлована местами более 2 *м*.

Если под ряжами после их опускания ожидается размыв, то ряжи делают бездонными, а для загрузки камня в целях посадки ряжей делают внутри банок перегородки-карманы (рис. 358,*б*).

Между ряжами оставляют зазоры в 20—30 *см*, необходимые для того, чтобы плавающий ряж при посадке не задевал за ранее установленный. Зазоры замыкают небольшими шандорами или наброской камней.

Для создания водонепроницаемости ряжевые перемычки защищают от фильтрации засыпкой супесчаного или песчаного грунта, либо установкой с напорной стороны ряжа шпунтового ряда—деревянного (при глубине воды до 6 *м*) или стального (при большей глубине воды), с присыпкой призмы грунта с напорной стороны. Стальной шпунт применяют и при меньшей глубине в грунтах, не допускающих забивки деревянных шпунтов.

Стальные шпунты в процессе забивки удерживаются оттяжками; так как поперечная жесткость забитой шпунтовой стенки невелика, то ее следует весьма быстро закреплять после забивки. Шпунт крепят к ряжу через 1,3 *м* болтами, проходящими через прижимной брус, устанавливаемый на уровне наивысшего горизонта воды, и через сухарь за наружной стенкой ряжа (рис. 359). Иногда для усиления болт закрепляют не за первый ряд ряжа, а за первую внутреннюю стенку.

Стальные шпунтовые стенки с замками не являются водонепроницаемыми, они погашают не более 20% напора, поэтому приходится принимать специальные меры для уменьшения фильтрации как через вертикальные пазы шпунта, так и между скалой и низом шпунтового ряда.

При небольшой высоте и длине шпунтовой стенки и отсутствии ледоходов фильтрация сильно уменьшается после навешивания с напорной стороны брезента, покрывающего шпунтовую стенку и часть русла реки в виде понура; нижняя часть брезента пригружается песком или камнем.

Обычно для уплотнения применяют засыпку пазов гарью или мелким песком с опилками. Уплотнение получается недостаточное, но все же при нем возможно приступить к откачке воды из котлована. Далее делают искусственное заиливание пазов смесью песка с опилками (в малых перемычках с навозом) состава 1 : 1; смесь сбрасывают в воду с напорной стороны. Песок тонет и увлекает с собой более мелкие частицы, притягиваемые к пазам с тем большей силой, чем выше напор. В дальнейшем к искусственному заиливанию присоединяется естественное и паз получает вполне удовлетворительную водонепроницаемость. Для более прочного удержания заиливающих материалов иногда смазывают пазы мазутом, нефтяными остатками, тавотом. Такая смазка, обеспечивая более плотное прилипание частиц к шпунту, облегчает установку и разборку шпунта и уменьшает его ржавление; но в этом случае предварительная засыпка пазов уже не может быть произведена.

Частицы шпунта, лежащие выше низких горизонтов воды, проконопачивают и осмаливают.

Уплотнение щели между скалой и низом шпунта может быть произведено одним из следующих способов:

1) устройством с напорной стороны песчаной отмели, возводимой выше высоких горизонтов, чтобы предотвратить фильтрацию по плоскости между шпунтом и отсыпью. Эта мера весьма эффективна, для отсыпки может быть применен и лессовый грунт;

2) укладкой вдоль щели мешков с соломой и крупным песком или гравием; опыт Днепростроя показал хорошее качество и дешевизну этого рода уплотнения;

3) укладкой бетонной пробки вдоль низа шпунта с напорной стороны методом подводного бетонирования;

4) устройством по внутренней грани ряжа водонепроницаемых стенок с заполнением промежутков песком.

После откачки воды из ряжевой перемычки шпунты нужно дополнительно осаживать для перекрытия возможных промоин под шпунтом; согласно опыту последующие добивки свай дают иногда осаживание шпунта на глубину до 4 *м*.

Сборку ряжей можно выполнять на стапелях, на льду или пионерным способом.

Стапель для рубки ряжей представляет собой горизонтальную площадку, переходящую в слабонаклонную плоскость (с уклоном 1 : 10—1 : 15), и состоит из ряда прогонов, перпендикулярных к урезу воды, уложенных на лежнях. Ряжи собирают на катках и стаскивают на воду лебедками. Недостаток стапельной рубки заключается в ее длительности и в затрате большого количества рабочей силы.

В зимнее время можно обойтись без стапеля и собирать ряж на льду, на месте его установки. Для погружения ряжа лед вокруг него окалывается; при дальнейшей рубке выкалывают лед внутри ряжа и поддерживают открытой щель между ряжем и ледяным полем. Из-под ряжа лед, как правило, не удаляется, так как часть его разъедается водой до посадки, часть раздавливается и часть под давлением ряжа тает вскоре после посадки.

При пионерном способе рубку ряжей ведут на каком-либо сооружении, вдающемся в реку, например на готовой перемычке, и опускают ряжи в воду краном. Ряж делится на секции, каждая из которых должна по весу соответствовать грузоподъемности крана. Ряжи дорубают до проектных размеров в воде. При пионерном способе требуется значительно меньшее количество рабочей силы для спуска ряжа, чем при спуске со стапелей; самый спуск занимает меньше времени.

Спущенный в воду ряж подводят к месту установки катерами, пароходами или лебедками. До установки дно реки под будущей перемычкой нивелируют и очертание низа ряжей причерчивают к профилю дна.

При значительных скоростях течения, а особенно при больших глубинах, установка замыкающих ряжей на место весьма затруднительна. Поэтому иногда вместо замыкающих ряжей применяют либо ряжи-пробки небольших размеров, либо ставят щиты, шандоры или спицы.

§ 8. СТАЛЬНЫЕ ЯЧЕИСТЫЕ ШПУНТОВЫЕ ПЕРЕМЫЧКИ

Ячеистые перемычки бывают двух типов: цилиндрические и сегментные. Перемычки первого типа представляют собой ряд цилиндров большого диаметра из стальных шпунтин, соединенных круговыми козырьками (рис. 360, *а*). У перемычек второго типа ячейки образованы пересекающимися кругами, разделенными поперечными прямыми диафрагмами (рис. 360, б).

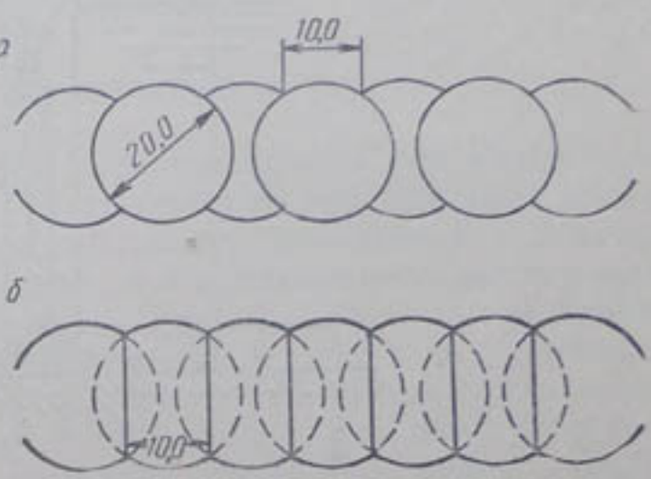


Рис. 360. Стальные ячеистые перемычки:
а—из цилиндров, соединенных круговыми диафрагмами; *б*—из пересекающихся кругов, разделенных поперечными диафрагмами.

Расстояние между цилиндрами обычно принимают равным 0,6—0,8 *м*; диаметр цилиндра определяется из условий устойчивости на сдвиг и проверяется на распор от засыпки грунта.

Высота цилиндрических перемычек достигает 10—13 *м* при длине шпунтин 16—18 *м*, высота сегментных перемычек достигает 15—20 *м*.

Для ячеистых перемычек обычно принимается плоский шпунт ШП-1; шпунтины могут поворачиваться в замках на угол до 20°.

Перемычки засыпают песчаным или супесчаным грунтом. С низовой стороны перемычки в нижней части шпунтин просверливают отверстия для выпуска профильтровавшейся воды.

К достоинствам ячеистых перемычек относятся: жесткость и прочность; легкость разборки и возврат материала (до 70—80%); хорошая водонепроницаемость и надежность против подмыва шпунта и вымывания засыпки, возможность засыпки рефулированием; быстрота постройки и разборки и незначительная затрата рабочей силы; меньшая площадь по сравнению с ряжевыми перемычками.

Для достижения водонепроницаемости стальных перемычек необходимо заиливание вертикальных пазов.

Все работы по возведению ячеистых перемычек можно механизировать (бойку шпунта, заполнение ячеек). По опыту Свирьстроя стальные ячеистые перемычки вдвое дешевле ряжевых.

§ 9. ПЕРЕХОДНЫЕ ПЕРЕМЫЧКИ

По окончании постройки одной секции плотины и переходе на следующую в котловане законченной секции заранее устанавливают так называемую переходную перемычку, расположенную примерно вдоль русла реки. Эту перемычку ставят насухо на законченной части сооружения, возможно ближе к концу ее. Поэтому возведение перемычки не представляет особых трудностей. При сооружении плотин переходная перемычка обычно примыкает к последнему бычку, который заменяет часть перемычки. Это необходимо учитывать при определении очертания перемычек в плане.

Переходная перемычка лежит частью на водобое, частью на рисберме, поэтому в проекте следует предусматривать нагрузку от перемычек на эти части флютбета и конструкцию заделки элементов перемычки во флютбет.

Разбивка сооружения на очереди работ должна предусматриваться в проекте сооружения. Особенное значение это приобретает при слабых грунтах основания сооружения, когда во время постройки и эксплуатации переходной перемычки могут возникнуть опасные деформации.

В зависимости от напора применяют однорядные шпунтовые перемычки (при напорах до 3 м), двухрядные (до 7—8 *м*) и более тяжелые ряжевые, бетонные или железобетонные (при больших напорах).

Переходные перемычки вне пределов флютбета устраивают так же, как обычные.

Так как переходные перемычки выполняются насухо, то можно удалить неподходящий грунт под основанием перемычек.

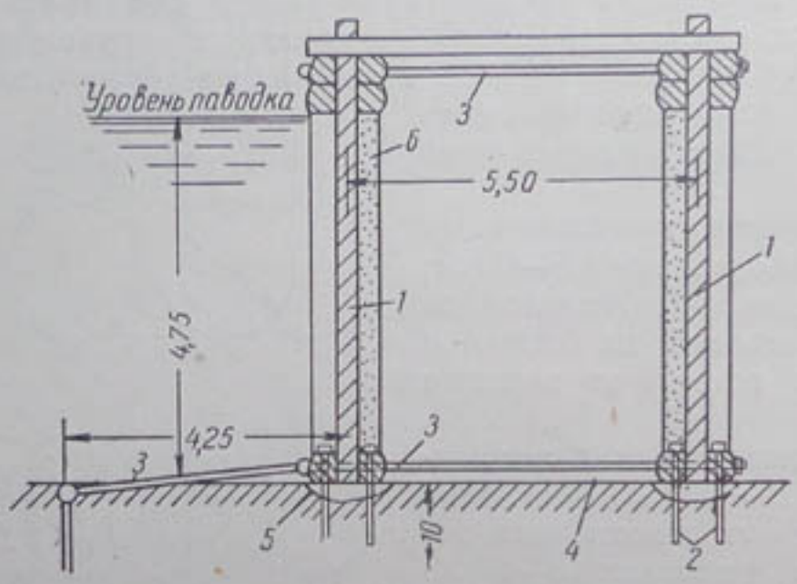


Рис. 361. Переходная перемычка:
1—шпунт из горизонтальных брусков; *2*—анкерные болты; *3*—стальные болты; *4*—флютбет; *5*—конопатка; *6*—засыпка из грунта.

При конструировании переходных перемычек необходимо учитывать воздействие больших скоростей потока в продольном направлении.

На рисунке 361 показана двухрядная переходная шпунтовая перемычка, применявшаяся на работах по шлюзованию р. Шексны.

§ 10. РАЗБОРКА ПЕРЕМЫЧЕК

Разборку земляных перемычек можно выполнять экскаваторами-драглайнами, обратными лопатами или грейферами. Направление разборки— от середины реки к берегу.

Перемычки из каменной наброски разбирать значительно труднее, чем земляные, поэтому их часто оставляют.

Разборку земляных, каменнонабросных, каркасных и ряжевых перемычек можно вести посредством направленных взрывов. В большинстве случаев этот способ обходится дешевле, чем другие; кроме того, ускоряется процесс разборки. Применение взрывов не должно вызывать разумеется, каких-либо вредных последствий для сооружения в целом или для его частей. Если проектом предусматривается разборка перемычек посредством взрывов, следует во время возведения перемычки закладывать трубки для зарядов.

Разборку однорядных шпунтовых перемычек начинают с удаления водолазами схваток, соединяющих подкосы с упорным брусом, и продольных насадок, соединяющих отдельные шпунтины; после снятия схваток можно вытаскивать шпунтины. Засыпку удаляют так же, как земляные перемычки.

Разборку двухрядных шпунтовых перемычек начинают со снятия поперечных стяжек и продольных схваток. После этого можно вынуть оба ряда шпунтов и удалить землю.

Разборку каркасных перемычек начинают с удаления наружной обсыпки, что наиболее удобно делать грейфером. Затем водолазами должны быть вынуты болты из шарниров, после чего можно вынуть шпунты и тем или иным способом разобрать земляную насыпку.

Разборка ряжевых перемычек трудоемка, занимает много времени и составляет около 20% стоимости установки перемычки. Работы по разборке приходится вести водолазам. Сначала отсоединяют шпунты от ряжей, после этого можно вытащить шпунты и удалить засыпку и обсыпку грейфером. По всплывании ряжей их разбирают. При наличии карманов, заполненных камнем, ряжи не всплывают и разбираются водолазами.

Глава XXVIII

ПЕРЕКРЫТИЕ РУСЕЛ РЕК

§ 1. СПОСОБЫ ПЕРЕКРЫТИЯ

В последние годы у нас получила распространение так называемая «пойменная» схема компоновки гидроузлов, при которой основные сооружения (плотина, гидростанция, судоходный шлюз), возводимые под защитой перемычек, размещаются на пойме реки, а в русле ее возводится земляная плотина; перемычки при этом не делают. Русло реки тем или иным способом сужается с обоих берегов до размеров, при которых еще возможно судоходство (скорости около 2—2,5 *м/сек*). Между сужениями русла оставляется разрыв—проран, перекрываемый отсыпкой в реку банкета из каменной наброски, горной массы, бетонных массивов (тетраэдров, кубов, «ежей»). Когда наброска выйдет из воды и русло реки окажется перекрытым, перепад, создаваемый банкетом, должен быть достаточным для обеспечения пропуска расходов в момент перекрытия русла через недостроенные еще сооружения (плотину, гидростанцию, шлюзы). После перекрытия начинается намыв земляной плотины под защитой банкета.

Банкет отсыпают либо с наплавного моста по всей длине фронта—фронтальный способ, либо пионерным способом с обоих берегов, без устройства наплавного моста.

ВНИИГиМ (А. М. Царевский и Д. А. Меламут) предложил новый способ перекрытия русла посредством гидромеханизации. Этот способ успешно применен при перекрытии небольших и средних рек—Рузы, Ахтубы, Днестра, Терека, Риона.

§ 2. ПЕРЕКРЫТИЕ РУСЕЛ БАНКЕТНЫМ СПОСОБОМ

Перекрытие русла банкетом из каменной наброски было впервые применено у нас в 1931 г. при постройке Палокоргской плотины на р. Выг. В 1935 г. таким же способом была перекрыта р. Тулома при постройке Туломской гидростанции.

В 1939 г. на строительстве Рыбинского и Угличского гидроузлов также было применено банкетное перекрытие рр. Шексны и Волги при удельных расходах до 3,3 $м^3/сек$ на 1 пог. *м*.

В 1946 г. перекрытие реки набросной камня в текущую воду было осуществлено на строительстве плотины Дэвис на р. Колорадо в США. Камень сбрасывался самосвалами с моста. Во время перекрытия образовалась промоина, которую закрыли сброшенными мостовыми фермами и камнем. Перекрытие продолжалось 56 часов.

В 1951 г. при строительстве Цимлянского гидроузла было осуществлено перекрытие р. Дона при расходе в 250 $м^3/сек$ сбрасыванием камня самосвалами с ряжевого моста. Перекрытие закончено за 8 часов. Удельная интенсивность каменной наброски 6 *т/час*.

В этом же году была перекрыта р. Свирь при расходе 450 *м³/сек* сбрасыванием камня и бетонных кубов с автомашин с наплавного моста. Перекрытие продолжалось 56 часов, наибольший перепад 1,73 *м*, удельная интенсивность наброски камня 3,2 *т/час*.

В 1951 г. при строительстве плотины Мак-Нэри на р. Колумбии в США было произведено перекрытие прорана шириной 80 *м* при расходе реки 2800 *м³/сек*, глубине воды 18 *м* и скоростях течения 6,7 *м/сек*. Доставка и сбрасывание 3272 бетонных четырехгранников весом по 12 *т* и каменной наброски производилось кабель-краном. Перекрытие продолжалось несколько суток.

В 1953 г. была перекрыта р. Кама (проран длиной 149 *м*) сбрасыванием с наплавного моста ваппов и бетонных кубов с удельной интенсивностью 2 *т/час* на 1 пог. *м*. Расход реки был 1440 *м³/сек*. Перекрытие продолжалось 144 часа.

В августе 1954 г. в створе Горьковской гидростанции р. Волга была перекрыта с наплавного моста отсыпкой камня, бетонных кубов и «ежей». Перекрытие длилось 33 часа; максимальный перепад на банкете был 0,88 *м* при расходе реки 1200—1300 *м³/сек*. Длина прорана была 280 *м*. Максимальная интенсивность отсыпки банкета 900 *м³/час*.

В июле 1955 г. было произведено перекрытие р. Днепра в створе Каховской гидростанции сбрасыванием горной массы весьма разнородного гранулометрического состава с наплавного моста. Перекрытие длилось 48 часов. Конечный перепад на банкете был 0,74 *м* при расходе 1500—1700 *м³/сек*. Средняя интенсивность подачи горной массы в проран длиной 230 *м* была 380 *м³/час* (от 240 до 560 *м³/час*).

В октябре 1955 г. Волга была перекрыта за 19 часов (с учетом времени на установку наплавного моста) в створе Куйбышевского гидроузла при расходе в реке 3800 *м³/сек*; пролет прорана 270 *м*, конечный перепад на банкете 1,93 *м*. В банкет, кроме камня и горной массы, сбрасывались бетонные пирамиды весом 10 *т* и кубы весом 2,5 *т*, удельная интенсивность подачи бетонных массивов 6,2 *т/час*.

В апреле 1956 г. было перекрыто русло р. Сыр-Дарьи на строительстве Кайрак-Кумской гидростанции наброской горной массы с последующей добавкой отборного крупного камня весом 3—4 *т* и бетонных пирамид весом 4,8 *т*, сбрасываемых с наплавного моста. Длина прорана была 85 *м*. Перепад был 0,71 *м* при расходе 647 *м/сек*. Перекрытие длилось 7 часов. Удельная интенсивность отсыпки 2,6 *т/час*.

В июле 1956 г. была перекрыта банкетным способом р. Ангара в створе Иркутской ГЭС при расходе реки 1830—1880 *м³/сек* отсыпкой автосамосвалами с наплавного моста различных местных каменных материалов с добавкой бетонных кубов весом 3—5 *т* и параллелепипедов весом 7 *т*. Перекрытие произведено за 15 часов при перепаде на банкете в 1,54 *м*. Банкет длиной 138 *м* был возведен с интенсивностью подачи бетонных массивов 2,1 *шт/час*, против 0,6 *шт/час* на Куйбышевгидрострое.

В совершенно исключительной обстановке проходило в 1943 г. перекрытие р. Сыр-Дарьи у Фархадской плотины. В условиях военного времени на стройке почти не было автотранспорта и механизмов. Сброс известняка и песчаника размерами 20—40 *см* производился с легкого понтонного моста вручную. Когда было сброшено около 40 тыс. *м³* камня, образовался перепад и увеличилась скорость потока; камень стало сносить в реку. Тогда на гребне каменной наброски, находившейся под водой, было поставлено 20 сипаев: их стали загружать хворостом и камнем, что и позволило закончить это, воистину героическое, перекрытие.

Во время перекрытия русел рек (например, р. Ангары) на строительстве наших крупных гидроузлов были достигнуты исключительно высокие темпы работ. Успех их определялся четкой организацией всех циклов процесса перекрытия, применением мощных средств транспорта и героическим трудом коллективов строителей.

§ 3. НАЧАЛО ПЕРЕКРЫТИЯ И НЕОБХОДИМЫЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Перекрытие русла реки следует начать после спада весеннего паводка. Немедленно после окончания перекрытия начинается возведение гидромеханизированным способом русловой земляной плотины до такой высоты, которая обеспечивает пуск в работу первоочередных турбин (необходим напор, равный примерно одной трети расчетного; например, для турбин Куйбышевского гидроузла 9 *м*).

Для того чтобы сразу после спада паводка можно было начинать закрытие прорана, необходимо на судоходных и сплавных реках заблаговременно обеспечить пропуск судов и плотов по временному судоходному каналу. Так как закрытие прорана сопровождается незначительным подпором (0,70—2 *м*) и задержанием меженного стока реки уровень верхнего бьефа может быть лишь немного повышен, то уровень воды временного судоходного канала находится на низких местах; поэтому его прорытие сопряжено с крупными объемами земляных работ. Так, например, на Куйбышевгидрострое для отрывки временного судоходного канала длиной в несколько километров пришлось выполнить 8,4 млн. $м^3$ земляных работ.

Перекрытие реки летом, как это было, например, на Каховском и Горьковском гидроузлах, позволило вести намыв русловой плотины в теплое время года и избежать зимнего намыва, значительно более дорогого и менее качественного. Позднее закрытие прорана на Куйбышевском гидроузле (31 октября 1955 г.) вызвало необходимость зимнего намыва русловой плотины.

Для возможности перекрытия русла в летнее время необходимо окончание ряда подготовительных работ; к ним относятся: а) все работы на дне затапливаемых котлованов и подготовка основных бетонных сооружений к пропуску строительных расходов; б) разборка поперечных перемычек; в) отрывка подводящего и отводящего каналов; г) сужение русла реки до размеров прорана; д) подготовка к затоплению соответствующих зон водохранилища.

От полноты и тщательности разборки перемычек и от придания подводящему и отводящему каналам достаточных размеров зависит размер конечного перепада в момент перекрытия. Незначительная величина перепада на Каховской ГЭС (0,74 *м*) была достигнута расширением подводящего канала, где первоначально наблюдались наибольшие гидравлические потери. Сравнительно большой перепад на закрытии прорана на Куйбышевском гидроузле вызывался главным образом неполностью разобранными к моменту перекрытия поперечными перемычками.

Для предупреждения размыва русла реки во время закрытия прорана и пропуска паводков заблаговременно производится крепление русла горной массой и выравнивание ею дна реки. На Куйбышевгидрострое толщина крепления была 1—1,5 *м*, длина его 100 *м*. На Цимлянском гидроузле крепление сделано на длине 85 *м* слоем в 1,25 *м*. На Каховском гидроузле длина крепления была 75 *м* при толщине слоя 0,8 *м*.

Так как пролет прорана значительно меньше ширины русла реки, суженного перемычками, то необходимо заранее произвести стеснение русла до размеров прорана. Оно выполнялось на Каховской ГЭС пионерным способом—отсыпкой горной массы с предварительной постановкой двух ряжей по концам прорана и с последующим усилением каменной наброски намывом грунта. На Горьковской ГЭС окончательное сжатие русла на ширине 280 *м* было произведено с наплавного моста, который в дальнейшем был использован для перекрытия русла. На Куйбышевгидрострое стеснение русла с правой стороны было осуществлено перемычками котлована гидростанции, а с левого берега намывом участка земляной плотины. Выбор того или иного способа зависит от местных условий; двукратное использование наплавного моста следует считать прогрессивным мероприятием.

§ 4. УСТРОЙСТВО ПРОРАНА

Ширина прорана. Если через проран до его перекрытия некоторое время пропускают суда, то его ширина определяется по предельно допустимой скорости взводного судоходства—2—2,5 *м/сек*. Если не пропускают суда через проран, то его ширина определяется технико-экономическими соображениями и главным образом величиной строительных расходов. При уменьшении ширины прорана уменьшается длина наплавного моста и объем банкета, но вместе с тем, вследствие увеличения скоростей, необходим камень бо́льших размеров и массивные бетонные тетраэдры и каркасы, которые сбрасывают с большей интенсивностью. При строительстве гидроузла на р. Каме ширина прорана была 149 *м*, Горьковского гидроузла—280, Каховского—230, Куйбышевского—270, Иркутского—138, Кайрак-Кумского—85 *м*.

Материал для засыпки прорана. В последнее время для отсыпки банкетов начала применяться горная масса взамен ранее применявшегося рваного камня. На строительстве Каховской гидростанции были применены слабые известняки—ракушечники, разрабатывавшиеся экскаватором СЭ-3 и использованные без дробления и сортировки. Горная масса состояла: из кусков породы крупностью до 10 *см*—60%, крупных камней объемом до 1,0 $м^3$—40%, плит угловатой формы объемом до 1 $м^3$—2—3%. Разнородная горная масса оказалась прекрасным материалом для закрытия прорана. Горная масса использовалась для перекрытия и на других стройках.

В конечном этапе закрытия прорана с успехом использовались бетонные тетраэдры весом 10 *т* на Куйбышевгидрострое, 5 *т* на Кайрак-Кумском и 5—7 *т* на Иркутском гидроузле.

Бетонные кубы также использовались для перекрытия на ряде строек (Куйбышевгидрострой—весом 2,5 *т*, Кайрак-Кумский гидроузел—2,2 *т*). Однако кубы, вследствие своей формы, имели меньшую устойчивость, чем тетраэдры, и поэтому оказались менее эффективными.

На Каховском гидроузле в момент перекрытия при скоростях 2,5—3 *м/сек* разноса камней крупностью 50—60 *см* не наблюдалось. Однако, при больших скоростях и при перепаде больше 60 *см* применение бетонных кубов все же оказалось эффективным.

Применение каркасной наброски, отсыпаемой вместе с камнем и служащей для него упором, особенно во второй половине перекрытия, по опыту строительства Горьковского гидроузла дает экономию в объеме камня и сокращает срок отсыпки банкета.

Интенсивность отсыпки банкета оказывает существенное влияние на успешность перекрытия и на ускорение его окончания. Чем больше интенсивность отсыпки, тем меньше вероятность наступления расходов, превышающих расчетный, тем меньше вероятность размыва русла ниже банкета.

При повышении интенсивности отсыпки последняя формируется менее распластанной, профиль ее получается более компактным и экономичным. В этом отношении поучительным является перекрытие на Угличском гидроузле, где подача рваным камнем крупностью 50—60 *см* производилась ленточными транспортерами интенсивностью около 2000 $м^3/сутки$. Перекрытие производилось при расходах Волги в 60 $м^3/сек$ и успешно закончилось (подпор доходил до 3 *м*). Однако из-за переполнения вышерасположенного Иваньковского водохранилища расход повысился до 600 $м^3/сек$, а скорости возросли до 5—5,5 *м/сек*. Отсыпанный банкет был полностью снесен и попытки восстановить его не удавались до тех пор, пока расход воды в реке не снизился до 70 $м^3/сек$. Причина размыва банкета в недостаточной интенсивности отсыпки и в отсутствии крупного камня и бетонных массивов. Отметим здесь, что интенсивность отсыпки горной массы на Куйбышевгидрострое доходила до 2392 $м^3/час$, бетонных пирамид весом 10 *т* до 158 *шт/час* и бетонных кубов до 50 *шт/час*. Интенсивность отсыпки гравия, камня, бетонных кубов и «ежей» на Горьковском гидроузле доходила в последние часы до 900 $м^3/час$.

Для достижения высокой интенсивности отсыпки необходимы запасы камня, горной массы и бетонных массивов, располагаемых на обоих берегах. Для погрузки и транспортировки этих материалов ставится требуемое по расчету количество экскаваторов и автосамосвалов.

Мосты для перекрытия. На строительстве Цимлянской и Пермской гидростанций для пропуска самосвалов при перекрытии были построены мосты на ряжевых опорах. В последние годы наводят наплавные мосты, что значительно сокращает время на их устройство и упрощает производство работ. Например, наводка моста с устройством пролетных строений на Каховском гидроузле заняла 5 суток.

Наплавные мосты конструируют из металлических барж грузоподъемностью по 150 *т*, соединяемых в секции по 2—3 штуки. Промежутки между баржами перекрывают шпунтовым настилом, по которому укладывают проезжую часть. Баржи ставят обычно вдоль течения. Грузоподъемность 150-тонных барж на Горьковском гидроузле оказалась недостаточной и мост получил значительные просадки во время движения груженых автосамосвалов. На строительстве Каховского гидроузла был применен понтонный мост нового оригинального типа. Он состоял из шести попарно соединенных металлических барж грузоподъемностью 600 *т*, длиной по 65 *м*, поставленных перпендикулярно течению.

На Куйбышевгидрострое мост на береговых участках состоял из попарно соединенных понтонов грузоподъемностью по 150 *т*, а в середине прорана было поставлено восемь барж грузоподъемностью по 600 *т*. В последнее время вместо ряжей-рымов, за которые тросами закрепляется мост, начали ставить баржи-якорницы, что ускоряет и упрощает устройство моста. Ширина мостов обычно 18—20 *м*.

Транспортировка каменного материала чаще всего осуществляется пятитонными автосамосвалами МАЗ-205; на Куйбышевгидрострое применялись десятитонные самосвалы ЯАЗ-210Е.

На строительстве Угличского гидроузла в 1939 г. рваный камень крупностью 50—60 *см* подавался в проран двумя ленточными транспортерами, установленными на козлах. Однако при этом виде транспорта подача крупных глыб невозможна; интенсивность подачи камня невелика (около 2000 *м*^{3}*/сутки* против 9—10 тыс. *м*^{3}*/сутки* на других перекрытиях). В настоящее время ленточные транспортеры при перекрытии не применяются.

Подача камня и бетонных четырехгранников весом 12 *т* в проран на строительстве плотины Мак-Нэри на р. Колумбии в США при скоростях потока 6,7 *м/сек* производилась кабель-кранами.

Камень и горную массу с береговых складов грузят в самосвалы обычно экскаваторами СЭ-3, а бетонные тетраэдры и кубы гусеничными кранами. На рисунке 362 видна гребенка из бетонных массивов, применявшихся при перекрытии р. Ангары на строительстве Иркутской ГЭС. На рисунке 363 видны бетонные пирамиды перед их выгрузкой в воду при перекрытии р. Сыр-Дарьи на Кайрак-Кумской ГЭС. Поперечные разрезы банкета (на разных пикетах) в момент выхода наброски из воды при перекрытии р. Днепра на Каховском гидроузле показаны на рисунке 364.

В процессе перекрытия русла каменная наброска или сохраняет очертание, близкое к треугольному, вплоть до выхода из воды с откосами, близкими к естественным (рис. 365, *а*), или приобретает распластанное очертание (рис. 365, *б*), вследствие разноса камня потоком[1].

Расходы реки во время перекрытия и срок перекрытия. Наибольшая величина расходов реки во время перекрытия наблюдалась на Куйбышевгидрострое—3800 *м*^{3}*/сек*; на Горьковском гидроузле во время перекрытия проходили расходы 1200—1300 *м*^{3}*/сек*, на Каховском—1500—1700, на Кайрак-Кумском—64, на Иркутском—1830—1880 *м*^{3}*/сек*. Проран был перекрыт

---

[1] Б. Т. Емцов. Гидравлический расчет процесса перекрытия. «Гидротехническое строительство» № 5, 1956.

Рис. 362. Гребенка банкета из массивов, вышедшая из воды при перекрытии р. Ангары.

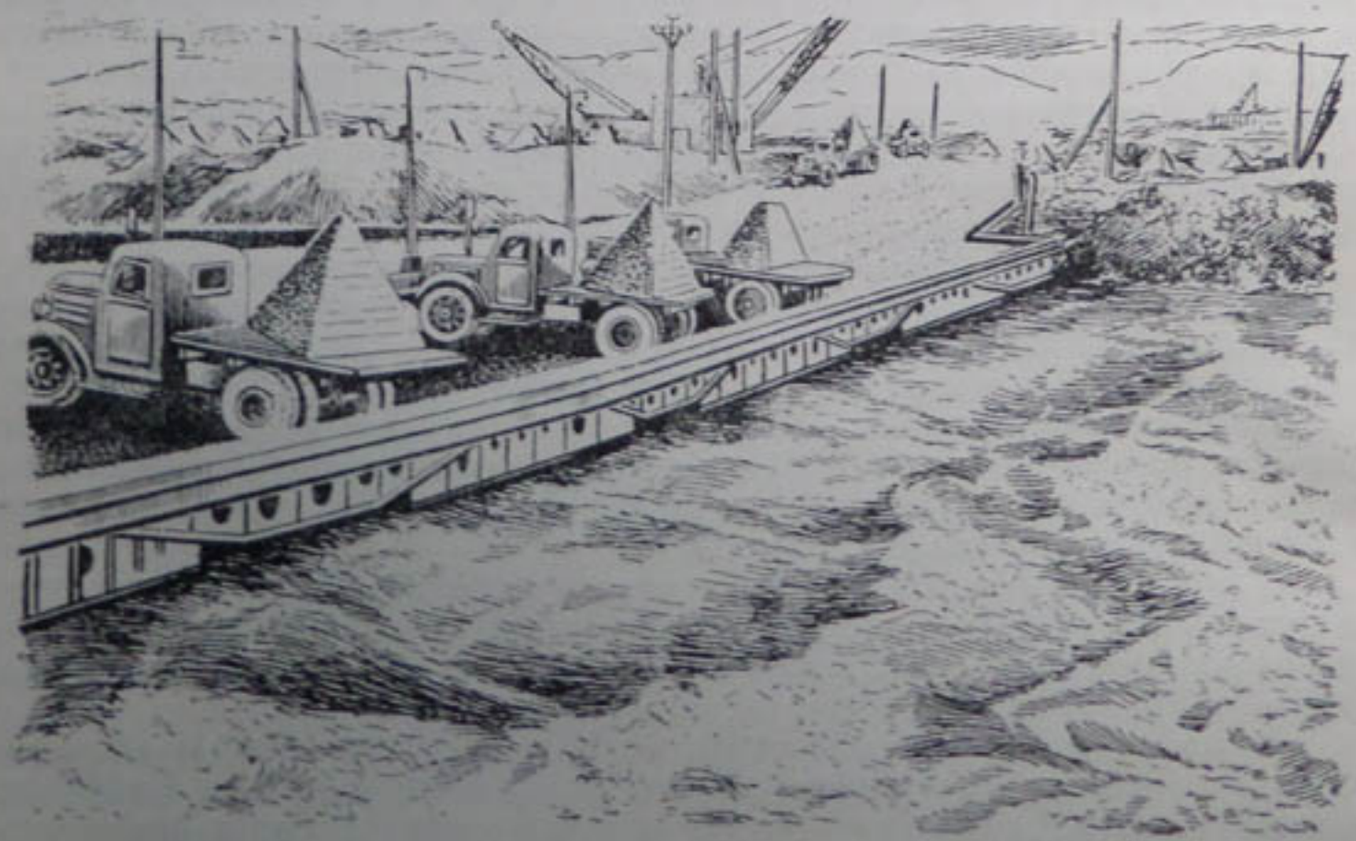


Рис. 363. Наброска с понтонного моста в проран р. Сыр-Дарьи бетонных пирамид (Кайран-Кумская ГЭС).

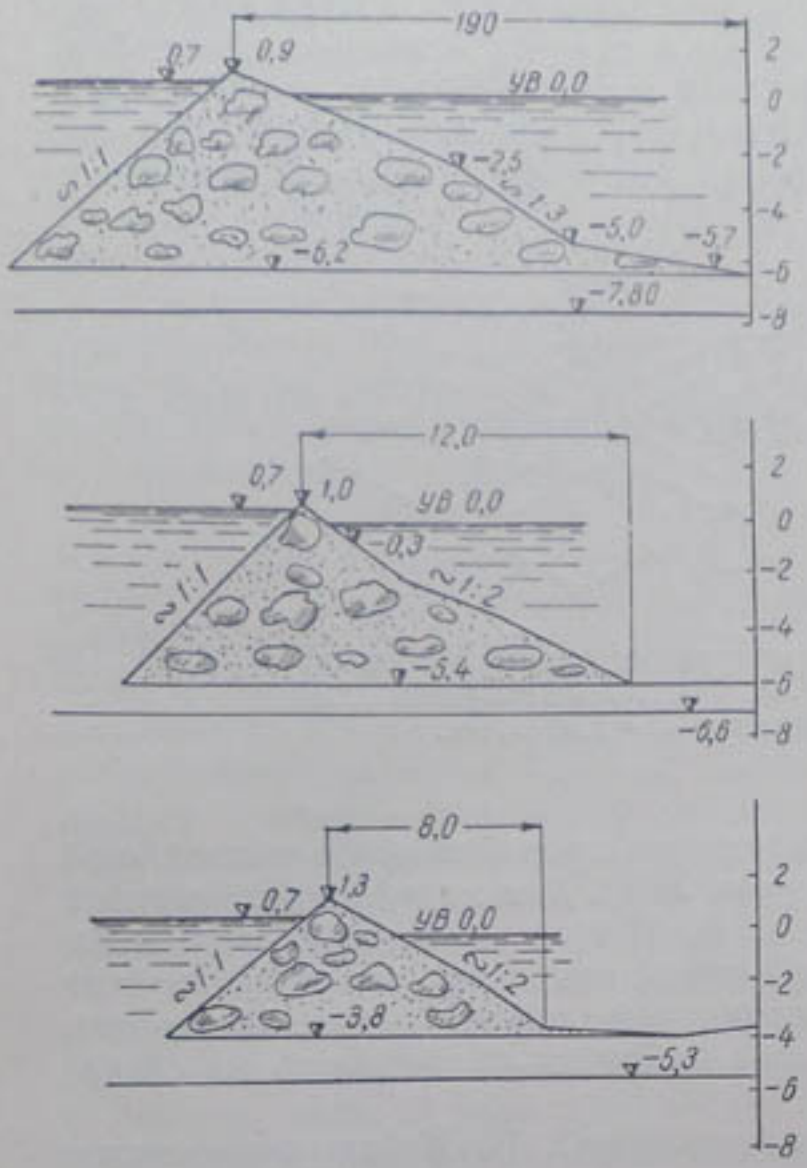


Рис. 364. Поперечное сечение банкета в момент выхода из воды на Каховской ГЭС (на разных пикетах).

на Горьковском гидроузле за 33 часа, на Каховском—за 48, на Куйбышевском—за 19, на Иркутском—за 15 часов.

Перепады. Величина конечного перепада на банкете во время перекрытия русла на разных гидроузлах была 0,7—2 *м* (за исключением перекрытия на Угличском гидроузле, где перепад достиг 3 *м*). При перекрытии на строительстве плотины Мак-Нэри в США величина конечного перепада составила более 4 *м*.

Небольшие величины перепадов на Каховском и Горьковском гидроузлах (0,74 и 0,88 *м*) объясняются правильно организованным боковым отводом воды; для уменьшения гидравлических по-

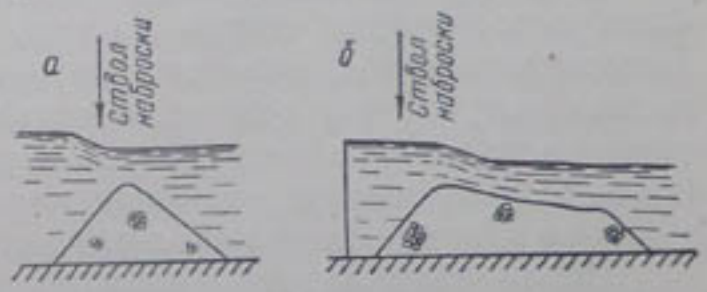


Рис. 365. Поперечные профили каменной отсыпи:

а—при интенсивной отсыпке и отсутствии разноса камня; *б*—при менее интенсивной отсыпке и наличии разноса камня.

терь, бо́льшая часть которых падала на подводящий канал, последний был расширен перед перекрытием русла. Сравнительно большая величина перепада на Куйбышевгидрострое (1,93 *м*) была вызвана недостаточно разобранными верховой и низовой перемычками.

§ 5. КАРКАСНАЯ НАБРОСКА ПРИ ПЕРЕКРЫТИИ РЕК

Наиболее напряженным этапом перекрытия русла многоводных рек является перекрытие последней (верхней) части, вследствие возрастающих перепадов и значительных удельных расходов реки. В этот критический момент переходят либо к отсыпке камней более крупных размеров, либо к наброске бетонных массивов. Как у нас в стране, так и за рубежом наблюдается тенденция к увеличению веса отдельных массивов. Так, например, вес их на Свири составлял 2 *т*, на Нижней Свири—3,6, на р. Каме—4,2, Мак-нэри—12 (1951 г.), на Горьковгэсстрое—до 5 *т*; на Куйбышевгидрострое бетонные пирамиды весили 10 *т* и бетонные кубы по 2,5 *т*, на р. Ангаре использовались бетонные кубы весом 3—5 *т* и параллелепипеды весом 7 *т*. Однако одно только увеличение веса массивов еще не решает задачу, так как величина предельных скоростей, отвечающих сдвигу потоком отдельных массивов, растет лишь пропорционально корню шестой степени из веса массивов. Более эффективным является изменение формы массивов—переход от кубов к тетраэдрам, так как при этом улучшается устойчивость массивов и несколько повышается фильтрационная способность наброски.

Профессор С. В. Избаш[1] на основании лабораторных опытов предложил видоизменить метод наброски верхней, наиболее ответственной части банкета и выполнять ее из более проницаемых и устойчивых в потоке конструкций (рис. 366), создающих каркас, легко и быстро выходящий из воды. Через каркасную проницаемую наброску могут проходить значительные расходы.

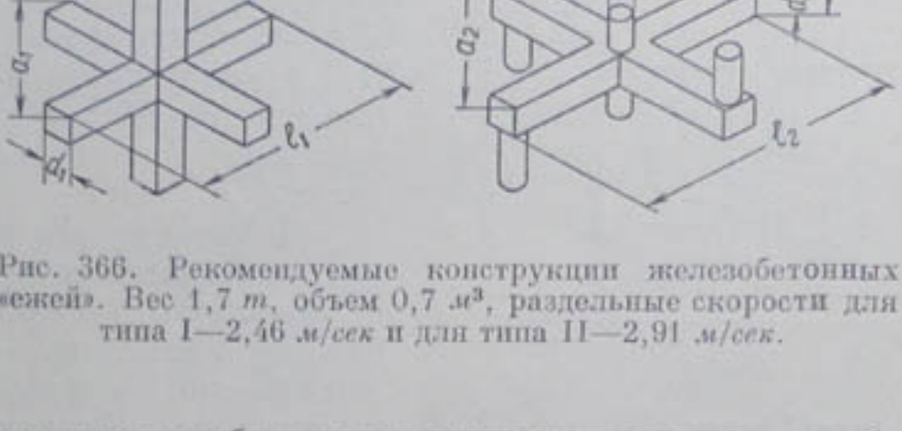


Рис. 366. Рекомендуемые конструкции железобетонных «ежей». Вес 1,7 *т*, объем 0,7 *м*³, раздельные скорости для типа I—2,46 *м/сек* и для типа II—2,91 *м/сек*.

Для выравнивания наброски и ликвидации прорывов особо подходящей была конструкция «ежей» по типу II (рис. 366,). Для надежного и быстрого выхода каркасной наброски из воды С. В. Избаш рекомендует каменную отсыпь, служащую основанием для каменной наброски, делать длиной по течению не меньше трехкратной первоначальной глубины потока на отсыпи. Производственное опробование каркасной наброски применялось на строительстве Горьковской гидростанции.

На основании произведенных исследований С. В. Избаш рекомендует отказаться от предельческой «теории» малых перепадов при перекрытии русел и указывает, что увеличение перепадов позволяет повысить отметки порогов водосбросных сооружений и уменьшить кубатуру подходных строительных каналов к водосбросным и судоходным сооружениям.

§ 6. ПЕРЕКРЫТИЕ РУСЕЛ РЕК ПИОНЕРНЫМ СПОСОБОМ

Этот метод перекрытия применяется редко, при наличии особых условий. В последние годы пионерным способом были перекрыты р. Нарва на строительстве Нарвской гидростанции и р. Обь на строительстве Новосибирской ГЭС, а также русла на Кременчугской и Павловской ГЭС.

При перекрытии р. Нарвы вследствие больших скоростей (до 5 *м/сек*) и значительных удельных расходов (при расходе реки около 360 *м*³/*сек*) возможность устройства наплавного моста исключалась. Ложе реки сложено из смеси камня и гравия, замытых мелкими фракциями, что гарантировало от большого размыва дна. При перекрытии в русло ставились железобетонные каркасы А-образной формы с подпорками и стабилизаторами для установки по течению. Каркасы ставились шагающим экскаватором ЭШ-1 и по 3—4 штуки в створе верхового откоса банкета, за которым образовывалось сбойное течение. Отсыпка основного тела банкета велась местными суглинками с влажностью 15—19%, близкой к оптимальной, при нижнем пределе пластичности около 13—17%. Суглинки разрабатывались экскаватором СЭ-3 с погрузкой в автосамосвалы МАЗ-205.

Суглинки, находившиеся в пластичном состоянии, вываливались из кузова автомашин довольно монолитной массой, слабо размываемой водой. Верховой откос для защиты его от размыва отсыпался камнем. Перепад при замыкании достиг 3,3 *м*.

---

[1] С. В. Избаш, Х. Ю. Халдре, В. Г. Иванов. Каркасная наброска при перекрытии русла многоводных рек. «Гидротехническое строительство» № 4, 1954.

Перекрытие р. Оби по проекту предполагалось производить с наплавного моста длиной 57 *м*, составленного из барж грузоподъемностью 110 *т*. Мостом было намечено перекрыть часть реки. Ширина реки в межень 825—850 *м*; дно ее сложено глинистыми сланцами, прикрытыми по берегам аллювием. До перекрытия была намыта земляная плотина на левом и правом берегах, а также и русловая часть ее, за исключением перекрываемого участка длиной 100—150 *м*.

Из-за отсутствия понтонов был построен мост длиной 50 *м* на ряжах. С моста был отсыпан из камня остров; образовался перепад 0,7 *м*. Пропуск строительных расходов в это время (октябрь 1956 г.) производился через гребенку водосливной плотины. Ширина прорвана была около 60 *м*, а расход через него $Q=1040$ *м*^{3}/*сек*.

Для перекрытия русла была применена горная масса, составлявшая основную часть отсыпки, крупные камни весом от 1 до 6 *т*, ежи и габионы (1,0×1,2×1,3 *м*). Отдельные камни связывались между собой в гирлянды весом по 5—6 *т*, заанкеренные в банкете, и сталкивались бульдозером в проран, ближе к верхнему бьефу. Под их прикрытием бульдозером сбрасывалась горная масса. Во время сталкивания материалов в проран возникали обвалы торцовой части банкета, образовывались уступы, не затруднявшие, однако, процесса пионерной отсыпки. Сбрасывание габионов производилось либо непосредственно с автосамосвалов, либо краном со специальным крюком. Ширина банкета в 7 *м* определялась возможностью разъезда двух автомашин, подававших на банкет материал. Проран был перекрыт 4 ноября 1956 г. при расходе в реке 1400 *м*^{3}/*сек* и перепаде 1,81 *м*; перекрытие продолжалось 8 суток. После перекрытия основной части русла были закрыты отверстия ряжевого моста фронтальной отсыпкой камня при перепаде 2,2 *м* и расходе воды в реке 1480 *м*^{3}/*сек*. Фильтрационный расход через банкет после перекрытия русла достиг значительной величины (80 *м*^{3}/*сек* при перепаде 2,2 *м*). Ниже банкета в зоне его смыкания образовалась яма глубиной около 8 *м*. Этот размыв указывает на необходимость устройства каменного защитного тюфяка в русле реки в месте предполагаемого смыкания. Объем банкета 35 000 *м*^{3} или 230 *м*^{3} на 1 пог. *м* перекрытия, при глубине потока 6 *м*.

Удельные расходы в проране при увеличении перепада не возрастали вследствие быстрого увеличения расхода через гребенку.

Из опыта пионерного перекрытия рек можно сделать следующие выводы:

1) в обоих описанных случаях пионерное перекрытие было применено в силу необходимости;

2) пионерное перекрытие уместно в условиях неразмываемых русел, иначе неизбежны большие размывы ниже банкета. Однако ниже места смыкания необходимо отсыпать каменную подушку;

3) достоинство пионерного способа—в отсутствии наплавного моста и возможности в связи с этим вести перекрытие и в зимних условиях (следует при этом заметить, что наплавные мосты могут перебрасываться с одной стройки на другую);

4) серьезным недостатком пионерного перекрытия является его продолжительность и наличие постоянного сбойного течения у конца отсыпаемого банкета, являющегося причиной обвалов и возможных аварий.

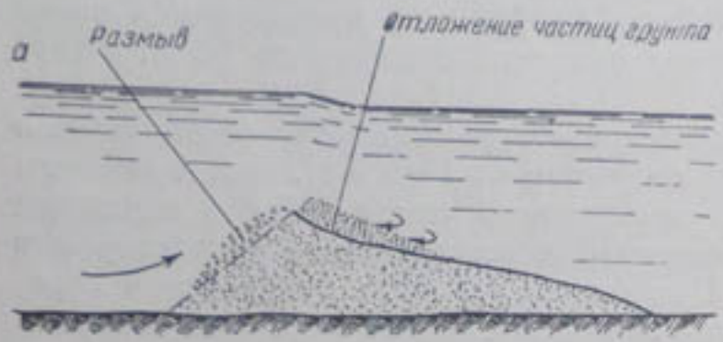
§ 7. ПЕРЕКРЫТИЕ ПРОРАНА ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННЫМ СПОСОБОМ (БЕЗБАНКЕТНЫМ)

Этот способ был разработан ВНИИГиМ в 1951—1953 гг.[1] и применен при перекрытии рек Ахтубы, Рузы, Днестра, Риона, Терека. Попытка применения этого способа для перекрытия р. Днепра на строительстве Каховской гидростанции окончилась неудачей.

---

[1] А. М. Царевский и Д. Л. Меламут. Намыв земляных сооружений в руслах рек. «Гидротехника и мелиорация» № 12, 1953.

Безбанкетный способ перекрытия рек основан на принципе нагрузки потока грунтом сверх его транспортирующей способности и на использовании возрастающей кинетической энергии потока при закрытии русла для получения дополнительной нагрузки потока; последняя возникает вследствие размыва потоком ранее отсыпанных резервов грунта выше прорана. В начале перекрытия при небольших скоростях потока ведется сосредоточенный намыв от одного берега к другому, образуется перепад, и часть расхода сбрасывается через сбросные сооружения; сосредоточенным намывом русло сжимается до того предела, при котором возникают размывающие скорости (рис. 367, *а*). Оставшийся проран намывается рассредоточенно, что приводит к образованию по всей его ширине искусственного переката (рис. 367, *б*). Вследствие затраты потоком энергии на переформирование переката транспортирующая способность его уменьшается. Для увеличения самонагрузки потока грунтом в момент закрытия прорана целесообразно выше его створа заранее намыть резервные отсыпи. Поток, размывая отсыпи, до предела насыщается частицами грунта, благодаря чему грунт, подаваемый в проран земснарядами, начинает в нем осаждаться и перекрывать проран. Замыв русла производится по линии верхового откоса земляной плотины. Грунт, выносимый потоком из намываемого створа, осаждается ниже створа перекрытия в виде шлейфа.



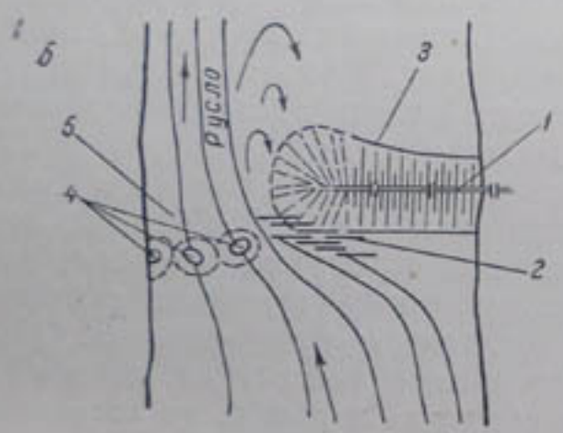


Рис. 367. Схема безбанкетного перекрытия:
а—формирование переката; *б*—расположение прорана и резервных отсыпей: *1*—пульповод; *2*—щитки; *3*—зона торцового намыва; *4*—резервные отсыпи; *5*—зона рассредоточенного намыва.

Рассмотрение данных по перекрытиям гидромеханическим способом показывает:

1) безбанкетный намыв в чистом виде был применен на перекрытии рек Рузы и Риона;

2) на перекрытии р. Ахтубы намыв прорана велся под защитой банкета из каменной наброски;

3) на перекрытии р. Днестра песчано-гравелистая масса подавалась в проран ленточным транспортером производительностью 100—130 $м^3/час$;

4) на перекрытии р. Терека закрытие прорана производилось сбрасыванием бульдозером суглинка в объеме 2,5 тыс. $м^3$ на предварительно уложенный хворостяной тюфяк; 500 $м^3$ грунта было подано земснарядами;

5) конечный перепад на всех указанных перекрытиях был небольшим (0,15—0,63 *м*), что объясняется низким заложением порога водосбросных отверстий; на перекрытии рек Ахтубы и Риона расход, проходивший ранее через перекрываемое русло, поступал в рядом расположенный отводной канал; это благоприятствовало успеху перекрытия;

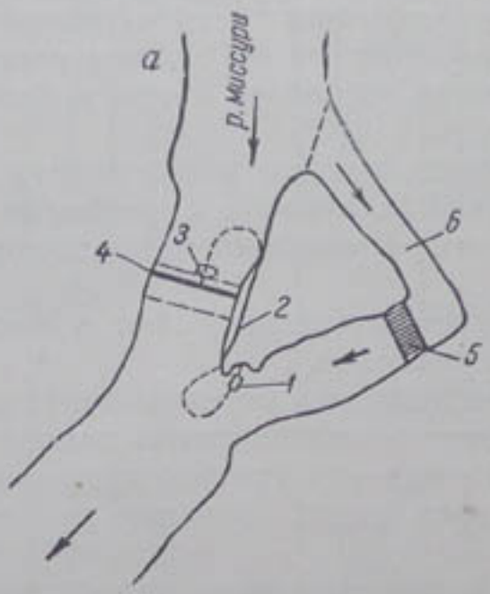
6) ширина прорана была невелика (от 8 до 40 *м*), через него пропускались во время перекрытия лишь небольшие расходы—от 4,2 до 37 $м^3/сек$, да и расходы названных рек во время перекрытия были невелики (от 8 до 124 $м^3/сек$); скорости во время перекрытия изменялись от 0,4 до 2,2 $м/сек$;

7) двухэтапное перекрытие—сначала предварительное стеснение русла торцовым сосредоточенным намывом, а затем заполнение прорана рас-

средоточенным намывом—было применено на реках Рузе и Днестре; в остальных случаях применялся только торцовый намыв;

8) вынос грунта, подаваемого для перекрытия русла, достигал значительных размеров (до 25%).

На строительстве Каховской гидростанции была предпринята в опытном порядке попытка перекрытия русла р. Днепра намывом мелкозернистых песков земснарядами с гидромониторной разработкой. Предполагалось производить торцовый намыв с правого берега (40 тыс. *м*³/*сутки*) и рассредоточенный (60 тыс. *м*³/*сутки*) с понтонного моста. Кроме того, в верхнем бьефе был поставлен земснаряд 300-40 для намыва резервного островка.



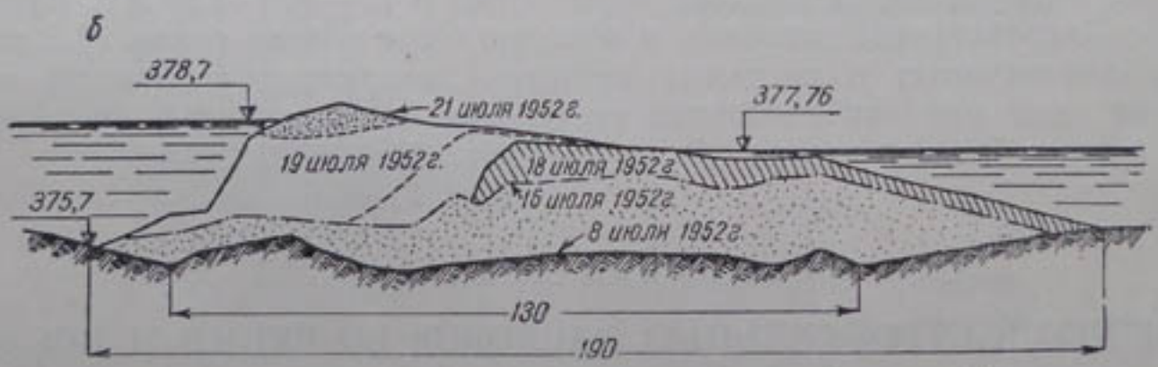


Рис. 368. Перекрытие гидромеханическим способом р. Миссури:
а—схематический план перекрываемого участка русла: *1*—земснаряд; *2*—напорный пульповод; *3*—самоходная баржа; *4*—намываемая перемычка; *5*—водосбросные сооружения; *6* — обводной канал. *б* — поперечный профиль намываемой перемычки.

Из 208 тыс. *м*³ поданного гидромеханизацией грунта было вынесено 104 тыс. *м*³, или 50%, причем в пределах транзитного потока ни отложений намывного грунта, ни признаков образования переката не было, хотя интенсивность рассредоточенного намыва была значительной (1900 *м*³/*час*). Общая интенсивность подачи песка составляла в среднем 4300 и доходила до 5500 *м*³/*час*. Отложение песка, подаваемого торцовым намывом под защитой каменной наброски, получалось только в водоворотной зоне, образовавшейся при обтекании потоком правобережного устоя.

В августе 1952 г. в США было успешно перекрыто русло столь крупной реки, как р. Миссури (рис. 368), с расходом во время перекрытия 850 *м*³/*сек*[1]. Для перекрытия использована горная масса разнородного состава средней крупностью, примерно 72 *мм*, подаваемая землесосом производительностью 15,3 тыс. *м*³/*сутки*. Пульповод был установлен на самоходную баржу, пере-

[1] И. В. Михеев, Д. Л. Меламут. О перекрытии русла р. Миссури намывным способом. «Гидротехника и мелиорация» № 8, 1956.

двигавшуюся в процессе намыва поперек течения, для обеспечения равномерной укладки грунта по ширине русла. Конечный перепад был 0,94 *м*. Распластанность перемычки свидетельствует о большом сносе намывавшейся в перемычку горной массы.

Автор проекта инж. Лоренц Г. Строба на международном гидравлическом съезде в г. Миннеаполисе в 1953 г. высказал мнение о практической неосуществимости перекрытия р. Миссури тонкозернистыми песками диаметром примерно 0,18 *мм* вследствие большой протяженности намываемого профиля, крупных объемов намываемой перемычки и значительного количества времени, затрачиваемого на перекрытие.

Советский опыт безбанкетного перекрытия показал возможность и целесообразность его применения на небольших реках при низком расположении порогов водосбросных устройств и при небольших удельных расходах потока в проране.

Но и в этих случаях пришлось применить комбинированный способ с дополнительной подачей (например, ленточными транспортерами, бульдозерами) в проран песчано-гравийных и суглинистых материалов и хворостяных тюфяков.

Применение безбанкетного перекрытия в чистом виде на перекрытии крупных рек себя не оправдало.

При гидравлических расчетах перекрытия следует учитывать не только создание условий перегрузки взвешенными наносами потока, но и обеспечение другого важного условия—отсутствия влечения по дну уже отложившихся частиц грунта. В этих целях полезно применение комбинированного способа.

Для возможности более широкого применения гидромеханизации при перекрытии русел необходимо изготовление на заводах земснарядов и пульповодов, пропускающих частицы крупностью в 75—100—150 *мм*. Практика намыва Мингечаурской плотины, в которую было подано около 13,5 млн. $м^3$ гравелисто-песчаных и песчаных грунтов, показывает реальность такого решения даже при использовании выпускаемых в настоящее время землесосов (может быть, с частичной их переделкой).

Глава XXIX

ПРОПУСК СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВО ВРЕМЯ И ПОСЛЕ ПЕРЕКРЫТИЯ РУСЕЛ РЕК

§ 1. СПОСОБЫ ПРОПУСКА ВОДЫ

Обычно перемычки разбирают до полного окончания огражденных ими сооружений и при перекрытии русла строительный расход пропускается через незаконченные сооружения.

Пропуск строительных расходов при достройке гидроузлов выполняют одним из следующих способов:

1) через незаконченную плотину методом «гребенки» (рис. 369);

2) через донные отверстия в незаконченной плотине;

3) через входное отверстие всасывающей трубы незаконченной гидростанции (рис. 370). Здесь можно пропустить только небольшие расходы, так как напоры невелики;

4) через незаконченную гидростанцию путем устройства временных пониженных порогов на конусах всасывающих труб или устройства временных отверстий в этих конусах;

5) через временные отверстия во всасывающих трубах, если в конструкции гидростанции имеются водосбросные донные отверстия;

6) через камеры судоходных шлюзов.

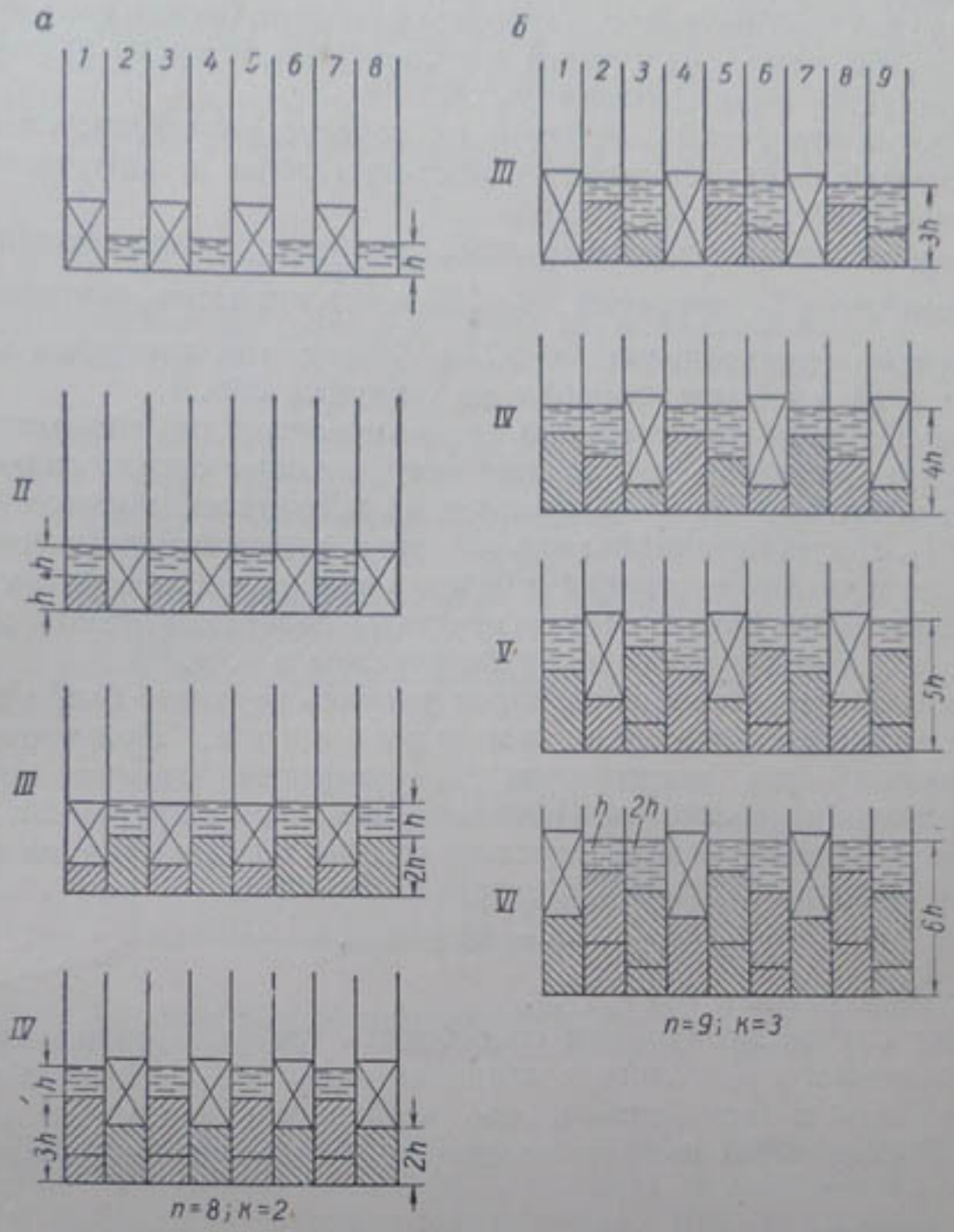


Рис. 369. Схема двух- и трехступенчатой гребенки.

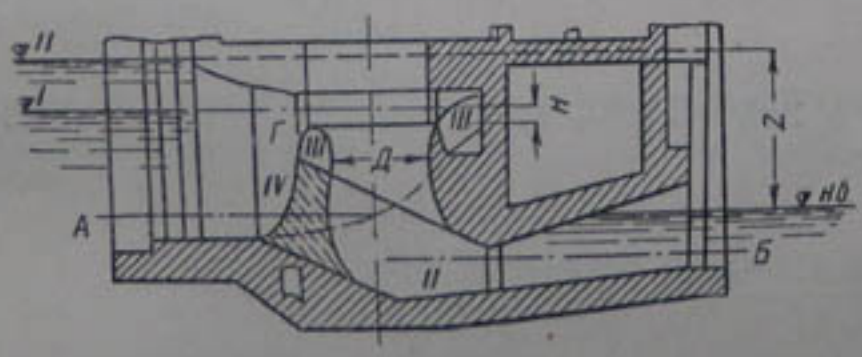


Рис. 370. Схема пропуска строительных расходов воды через турбинные камеры и всасывающие трубы гидростанций:

I—спиральная камера; *II*—всасывающая труба; *III*—фундаментное кольцо турбины; *IV*—временные строительные отверстия во всасывающей трубе; *V*—часть конуса турбины, устраиваемая в первую очередь для поддержки фундаментного кольца турбины.

§ 2. МЕТОД «ГРЕБЕНКИ»

Под защитой перемычек возводится основание плотины, понур, рисберма; после разборки перемычек группы пролетов (отверстий) бетонируются под прикрытием затворов, а через остальные незакрытые затворами отверстия пропускается строительный расход.

Количество отверстий и отметки их порогов определяются гидравлическими расчетами в зависимости от расходов воды и допустимой толщины переливающегося слоя.

При общем числе перекрываемых пролетов n строительный расход пропускается через $\frac{n}{k}$ отверстий, где $\frac{1}{k}$ — часть пролетов, закрытых в данный момент щитами (практически $k=2{,}3$ и более); ход закрытия при двух- и трехступенчатой гребенке показан на рисунке 369.

При двухступенчатой гребенке половину отверстий закрывают щитами, а через другую половину пропускают воду; затворы ставят сначала в нечетные отверстия или наоборот, а вода слоем h проходит над порогом (рис. 369, *а*, положение *I*). После бетонирования нечетных отверстий на высоту h затворы переставляют в четные отверстия и бетон в них укладывается на высоту $2\,h$; вода проходит в это время через нечетные отверстия таким же слоем h, но на высоте $2\,h$ под первоначальным порогом и т. д.

При каждой перестановке затворов уровень верхнего бьефа поднимается на высоту h, называемую шагом гребенки. При трехступенчатой гребенке каждый раз закрывается $^1/_3$ отверстий, причем в незакрытых отверстиях в одном пролете вода проходит слоем h, а в другом $2h$; при каждом перекрытии затворов уровень верхнего бьефа поднимается на величину h.

Высота затворов:

$$h_з = kh + h_{зап}, \tag{127}$$

где $h_{зап}$ берется равным $0{,}5-1$ *м*.

В общем случае пропускная способность гребенки определяется по формуле незатопленного водослива с широким порогом; на первых этапах водослив может быть и затопленным, что необходимо учитывать в расчетных формулах. Расход через каждую секцию и k ступеней выражается формулой:

$$Q_к = mb\sqrt{2g}\,[1^{3/2}+2^{3/2}+\ldots(k-1)^{3/2}]h^{3/2} = mb\sqrt{2g}h^{3/2}\Sigma\,(P-1)^{3/2}. \tag{128}$$

Общий расход через всю гребенку $\left(\frac{n}{k}\text{ секций}\right)$ определяется по формуле:

$$Q = \frac{n}{k}mb\sqrt{2g}h^{3/2}\Sigma\,(P-1)^{3/2}, \tag{129}$$

откуда

$$h^{3/2} = \frac{k}{\Sigma\,(P-1)^{3/2}}\,;\quad \frac{Q}{mnb\sqrt{2g}},$$

где P — целое число от 2 до k;

m — коэффициент расхода (0,32 — 0,385);

b — ширина одного пролета гребенки.

Обозначая через A величину $\frac{k}{\Sigma\,(P-1)^{3/2}}$, находим:

$$h = A^{2/3}\left(\frac{Q}{mnb\sqrt{2g}}\right)^{2/3}.$$

Величина A называется коэффициентом гребенки, она зависит только от числа ступеней ее k; для двухступенчатой гребенки она равна 2, для трехступенчатой 0,783.

С увеличением числа ступеней k уменьшается шаг гребенки h, число необходимых затворов n и их высота, т. е. уменьшаются затраты на затворы, но зато увеличивается число перестановок, а следовательно, снижаются темпы бетонирования. На практике чаще всего выбирают двух- или трехступенчатую гребенку. На постройке Днепровской плотины была принята двухступенчатая гребенка.

Закрытие гребенки обычно производится в период низких вод.

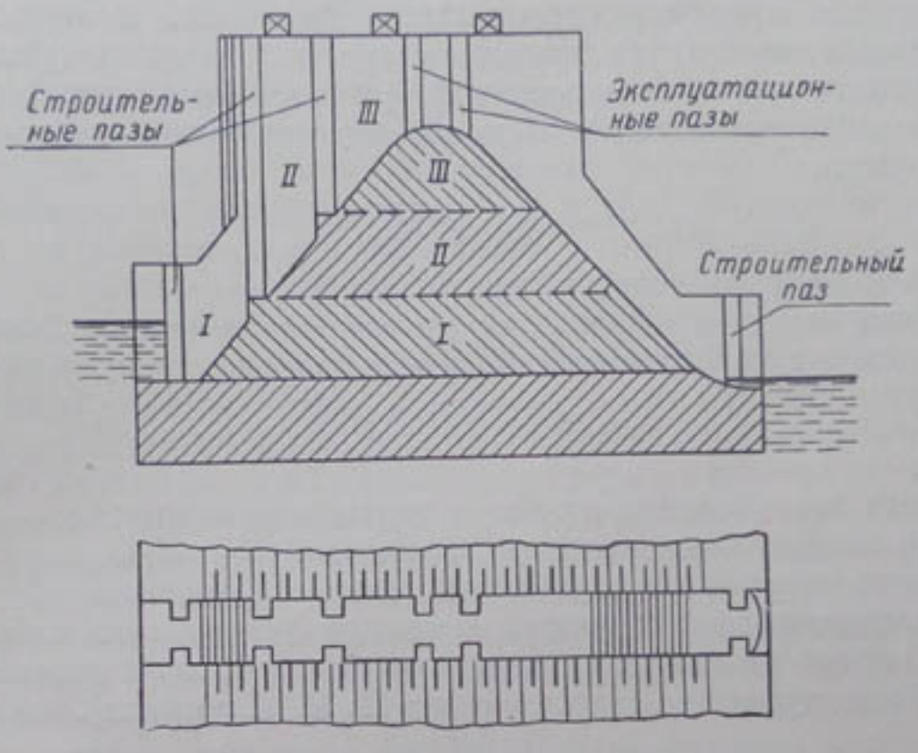


Рис. 371. Схема установки затворов гребенки при возведении плотины с наклонной напорной гранью.

Легче всего осуществить гребенку на плотинах с вертикальной напорной гранью, так как затвор гребенки при различных ее положениях по высоте передвигается по одному вертикальному пазу; при наклонной напорной грани плотины на разных этапах закрытия гребенки затворы приходится переставлять в разные строительные пазы быка, выдвигаемого в верхний бьеф, устраивая на грани плотины горизонтальные площадки для упора затворов (рис. 371).

Для маневрирования затворами необходимо устраивать мост; при наклонной грани мост иногда приходится переставлять. Строительные пазы следует заделывать после закрытия гребенки.

§ 3. МЕТОД ДОННЫХ ОТВЕРСТИЙ

Строительные расходы пропускают либо через постоянные отверстия с низким порогом, если таковые предусмотрены проектом, либо через временные донные отверстия, впоследствии заделываемые. Заделка временных донных отверстий затруднительна и не гарантирует полной монолитности сооружения; опускание затворов при наличии больших напоров также затруднительно.

Донные отверстия были применены при восстановлении сооружений Днепрогэса.

Если земляная плотина возводится сухим способом в одну очередь с укаткой, то пропуск строительных расходов может быть произведен через водоспуск. В этом случае водоспуск следует рассчитывать не только на эксплуатационные, но и на строительные условия, когда напор, в целях умень-

шения высоты перемычек, значительно ниже эксплуатационного. На время строительства к водоспуску должны быть подведены подводящие и отводящие трубопроводы, впоследствии разбираемые.

§ 4. ПРОПУСК СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ ЧЕРЕЗ НЕЗАКОНЧЕННЫЕ ГИДРОСТАНЦИИ

При недостроенной гидростанции турбинные колодцы также могут быть использованы для пропуска строительных расходов. Если через входное отверстие всасывающей трубы имеется свободный перелив (рис. 370) и оно не подтапливается уровнем нижнего бьефа (положение верхнего бьефа *I*), то пропускаемый строительный расход через турбинный колодец подсчитывается по формуле:

$$Q = m\pi D\sqrt{2g}H^{3/2}, \tag{130}$$

где m — коэффициент расхода; $m \cong 0{,}24$.

Для случая напорного движения (положение верхнего бьефа *II*) пропускаемый расход подсчитывается по формуле:

$$Q = 0{,}25\mu\pi D^2\sqrt{2gz}, \tag{131}$$

где $\mu \cong 0{,}70$;

D — диаметр всасывающей трубы в верхнем ее конце;

H — напор над верхним кольцом всасывающей трубы;

z — разность горизонтов верхнего и нижнего бьефов.

Для увеличения пропускаемых расходов устраивают либо временные пониженные пороги на конусах всасывающих труб, либо делают временные отверстия *IV* в конусах (по предложению П. П. Лаупмана).

§ 5. ПРОПУСК СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ ЧЕРЕЗ СУДОХОДНЫЕ ШЛЮЗЫ

Камеры судоходных шлюзов могут быть использованы в несудоходное время, если пороги их расположены достаточно низко. На строительстве Волжского гидроузла для пропуска временного судоходства был устроен временный судоходный канал к нижнему шлюзу на низких отметках в обход верхнего шлюза.

Этот канал может быть использован и для пропуска строительных расходов в несудоходное время; однако такое решение связано с большим объемом земляных работ.

Глава XXX

ВОДООТЛИВ И ВОДОПОНИЖЕНИЕ

§ 1. ПОНЯТИЕ О ВОДООТЛИВЕ И ВОДОПОНИЖЕНИИ

Котлованы и выемки для возможности беспрепятственной работы и передвижения землеройных, транспортных и других машин должны быть осушены.

После окончания ограждения котлованов перемычками уровень воды в них соответствует горизонту воды в реке в момент замыкания перемычек. Для возможности начала строительных работ необходимо прежде всего откачать воду из огражденного перемычками пространства, т. е. выполнить первичный водоотлив.

Так как очень часто дно котлованов расположено ниже горизонта грунтовых вод, то необходимо понизить естественный горизонт грунтовых вод ниже дна котлованов (выемок), т. е. произвести осушение котлована путем водопонижения. В дальнейшем пониженный горизонт грунтовых

вод необходимо поддерживать во время производства в котловане земляных, транспортных, бетонных и других работ; для этого нужно предусмотреть дальнейшую откачку воды, поступающей в осушительные устройства.

§ 2. ПЕРВИЧНЫЙ ВОДООТЛИВ

Так как объем воды, находящейся в котловане, известен, то для определения мощности водоотливных устройств в первый период откачки нужно задаться числом дней откачки. Отправным пунктом для назначения периода первичной откачки должно служить допустимое суточное понижение горизонта воды в котловане. Так как в перемычках обычно имеется ряд дефектов, частично объясняемых подводным производством работ (неплотности и расхождения шпунтов, неплотности в отдельных частях засыпки, недостаточно плотное сопряжение шпунтов со скалой и пр.), то нельзя рекомендовать применение на первом этапе водоотлива слишком мощных водоотливных устройств. Это привело бы к чрезмерно быстрому повышению напора воды на перемычку, связанному с возможностью крупных прососов и аварий с перемычками, к оползням откосов котлована. На Днепрострое, например, понижение горизонта воды в котловане при откачке составляло 1,1 *м* в сутки; на строительстве Каховского гидроузла 0,4—0,5 *м/сутки*.

По мере откачки воды и повышения напора на перемычку интенсивность откачки целесообразно уменьшать. Заранее назначить рациональную и вместе с тем безопасную интенсивность суточного понижения горизонта воды трудно, так как она зависит от того, насколько удачно выбран тип перемычек и насколько качественно они выполнены, а также от крупности зерен грунта котлована; это и определяется при первичной откачке воды из котлована. По мере роста напора необходимо внимательно осматривать перемычку и замеченные места усиленной фильтрации немедленно заделывать.

Для предварительных расчетов мощности водоотливных средств на первый период откачки можно задаваться интенсивностью понижения горизонта воды в котловане порядка 0,5—1 *м/сутки*. Однако подсчитанная мощность насосов должна быть взята с запасом в 20—100% и разбита на несколько более мелких единиц с тем, чтобы в зависимости от состояния и работы перемычки в период откачки применять то или иное число насосов. Например, для откачки воды из котлована Днепростроя было установлено 13 насосов.

При расчете объема первичной откачки нельзя исходить только из геометрического объема подлежащей откачке воды, так как именно в этот период наблюдается усиленная фильтрация через перемычки и под ними. Так, например, на Свирьстрое за период первичной откачки объем выкаченной за 60 дней воды был равен десяти объемам котлована; на Днепрострое при длительности откачки от недели до 1,6 месяца объем выкаченной воды составил от 3,5 до 4,3 объема котлована[1]; на строительстве Каховского гидроузла при первичном водоотливе из малого котлована площадью по дну 16,8 тыс. $м^2$ и длительности водоотлива 30 суток кубатура откаченной воды превосходила ее первичный объем в 10 раз, а при водоотливе из рядом расположенного большого котлована площадью 170 тыс. $м^2$ и длительности откачки 35 суток имело место превышение в 1,7 раза[2].

Интенсивность откачки воды во второй период, зависящую от величины фильтрационного притока через перемычки и под ними, можно определять по формулам теории фильтрации. Однако в применении к перемычкам теоретические формулы не могут дать должной точности, так как при подводной отсыпке перемычек коэффициент фильтрации может очень сильно изменяться

---

[1] А. В. Гришин. Пропуск строительных расходов и ограждение котлованов при строительстве гидроузлов. Госэнергоиздат, М.—Л., 1950.

[2] А. П. Бегин. Осушение котлована Каховской ГЭС. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 4, 1954.

в зависимости от качества возведения земляной отсыпки, уплотнения шпунтов и т. д. Кроме того, даже для данной перемычки коэффициент фильтрации меняется во времени в процессе откачки в связи с ее осадками и кольматажем. Столь же трудно теоретически с достаточной точностью подсчитать и фильтрацию через дно котлована. Поэтому результаты теоретических расчетов должны сравниваться с практическими данными при откачке воды из котлованов.

Интенсивность водоотлива может сильно меняться в зависимости от типа перемычки и качества ее постройки. Можно, например, указать, что удельный дебит воды при откачке из котлована Белоомутской плотины на р. Оке, огражденного двухрядными шпунтовыми перемычками с напором в 5 *м*, возведенными на легко размываемых песках, составлял 1 *л/сек* на 1 $м^2$; через несколько лет при возобновлении работ для ремонта при перемычках той же конструкции дебит был 0,012 *л/сек* на 1 $м^2$; уменьшение дебита в восемь раз объясняется качественным возведением перемычек.

Для приближенного подсчета дебита с единицы площади котлована (не речного) на строительстве канала имени Москвы принимался $q_{уд}$=0,01 *л/сек* на 1 $м^2$. Для речных котлованов, огражденных перемычками, удельный дебит больше.

Инженер Паталеев предлагает брать для $q_{уд}$ следующие цифры: при мелкозернистых песках 0,044, при среднезернистых 0,066, при крупнозернистых 0,084 *л/сек* на 1 $м^2$.

Профессор Н. И. Анисимов наблюдал на Северном Донце фильтрационный приток в котлован плотины интенсивностью 0,066 *л/сек* на 1 $м^2$ при песчаных грунтах средней плотности и однорядной перемычке из дощатого шпунта с отсыпью. В котловане на р. Кальмиус при земляных перемычках высотой до 3 *м* на слабом наносном грунте наблюдался $q_{уд}$=0,009 *л/сек* на на 1 $м^2$.

На постройке водосливной ячеистой перемычки из стального шпунта без наружной отсыпки наблюдался $q_{уд}$=0,05 *л/сек* на 1 $м^2$ при напоре до 9 *м*.

При откачке малого котлована Каховской ГЭС производительность насосной станции составляла 3000 $м^3$/*час*, а для большого котлована 5000 $м^3$/*час*. Это соответствует удельной интенсивности откачки $q_{уд}$=0,05 *л/сек* на 1 $м^2$ для малого котлована и $q_{уд}$=0,008 *л/сек* на 1 $м^2$— для большого котлована.

Приведенные примеры показывают значительные колебания практических значений $q_{уд}$. Кроме того, замечено, что $q_{уд}$ уменьшается по мере кольматажа перемычки.

Если откачкой понижение горизонта воды в котловане не достигается, то это указывает на наличие прососов или других мест усиленной фильтрации. В таких случаях увеличивать мощность насосов не следует, а нужно прежде всего тщательно осмотреть перемычку и уплотнить слабые места. Если уплотнение не даст результатов, следует пускать в ход резервные насосы. В случае сильно проницаемого основания следует рассмотреть вопрос об устройстве противофильтрационных завес вдоль перемычек.

Для откачки воды часто устанавливают насосные станции на плавучих металлических баржах, как это делалось, например, на строительстве Каховской ГЭС и на других стройках; это позволяет производить откачку без перемонтажа стационарных насосных станций, который необходим для обеспечения высоты всасывания при устройстве их, например, на перемычках.

Для сбора профильтровавшейся воды внутри котлована по его периметру устраивают сеть каналов, собирающих воду и подводящих ее к колодцу, в котором расположен всас.

При устройстве затопляемых перемычек необходимо при начале спада паводка включать водоотлив, чтобы избежать аварии с перемычкой из-за напора со стороны котлована.

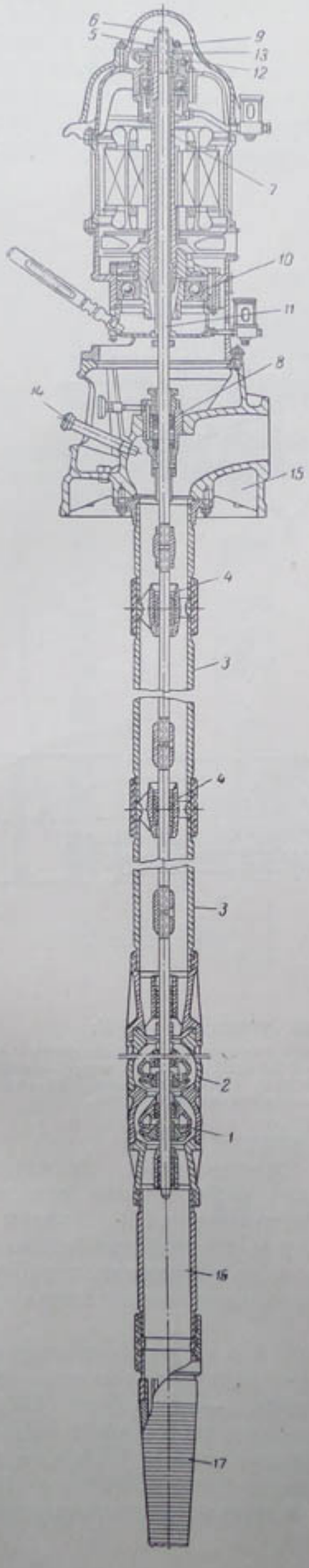


Рис. 372. Глубинная насосная установка АТН-8:

1—диск (рабочие колеса); *2*—направляющий корпус; *3*—звенья нагнетательной трубы; *4*—кронштейны; *5*—регулировочная гайка; *6*—приводной вал; *7*—полый вал ротора электродвигателя; *8*—сальниковое устройство; *9*—стопор; *10*—шариковый подшипник; *11*—предохранительная гильза; *12*—шарик; *13*—втулка контрреверса; *14*—трубка; *15*—опорная рама; *16*—всасывающая труба; *17*—всасывающая сетка (всас).

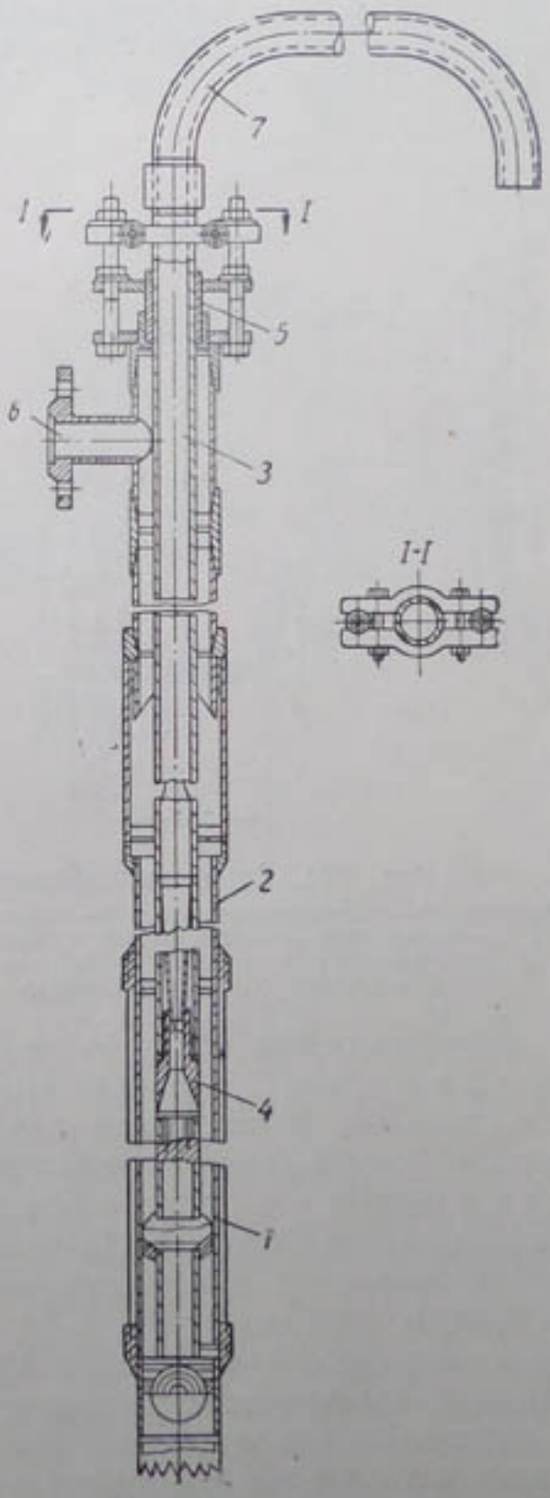


Рис. 373. Эжекторный иглофильтр:

1—фильтрующее звено; *2*—наружные трубы; *3*—внутренние трубы; *4*—водоструйный насос; *5*—сальниковое устройство; *6*—патрубок для рабочей воды; *7*—сливная труба.

§ 3. СПОСОБЫ ВОДОПОНИЖЕНИЯ ДЛЯ ОСУШЕНИЯ КОТЛОВАНОВ

На практике применяются различные способы осушения котлованов: поверхностный водоотлив, глубинный водоотлив из глубоких скважин, водопонижение с откачкой воды из эжекторных иглофильтров, водопонижение переносными иглофильтрами (переносные иглофильтровые установки—ПВУ), водопонижение легкими иглофильтрами, легкие иглофильтровые установки (ЛИУ), электроосушение.

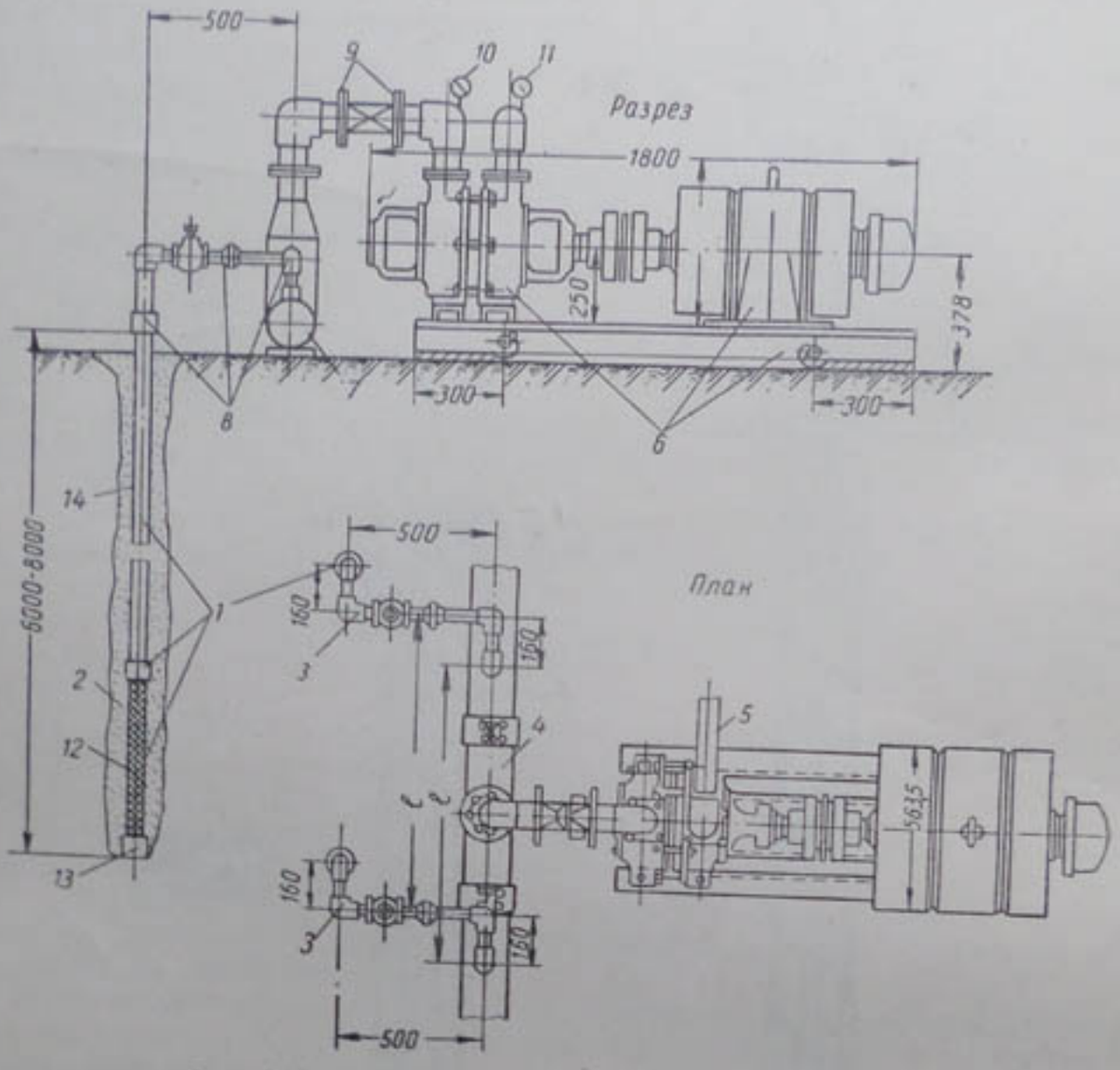


Рис. 374. Схема иглофильтровой установки ПВУ:
1—иглофильтр; *2*—песчаная засыпка; *3*—шарнирное соединение иглофильтра с коллектором; *4*—коллектор; *5*—отводящая труба; *6*—агрегат; *7*—коллектор; *8*—шарнирное соединение иглофильтра с коллектором; *9*—задвижка; *10*—вакуумметр; *11*—манометр; *12*—фильтр; *13*—наконечник; *14*—надфильтровая труба.

Для водопонижения широко применяются:

а) глубинные скважины значительных диаметров (до 425 *мм*), в которых помещаются глубинные вертикальные центробежные насосы (рис. 372), понижающие горизонт грунтовых вод на десятки метров;

б) эжекторные иглофильтры из труб диаметром 114 *мм*, в которых помещаются водоструйные насосы; дополнительная рабочая вода для эжекции позволяет применять эти иглофильтры для водопонижения на значительную глубину (рис. 373);

в) переносные иглофильтровые установки ПВУ, в которых насос расположен на поверхности земли; ими можно понижать горизонт грунтовых вод на высоту всасывания 5—5,5 *м* (рис. 374).

г) легкие иглофильтровые установки ЛИУ, в которых использованы самовсасывающие вихревые насосы (СВН), отличаются высоким значением вакуумметрической высоты (рис. 375). Как ПВУ, так и ЛИУ используются на гидротехнических и гидромелиоративных стройках

главным образом для целей местного мелкого водопонижения, в качестве помощи основным водопонизительным установкам—глубинным скважинам и эжекторным иглофильтрам;

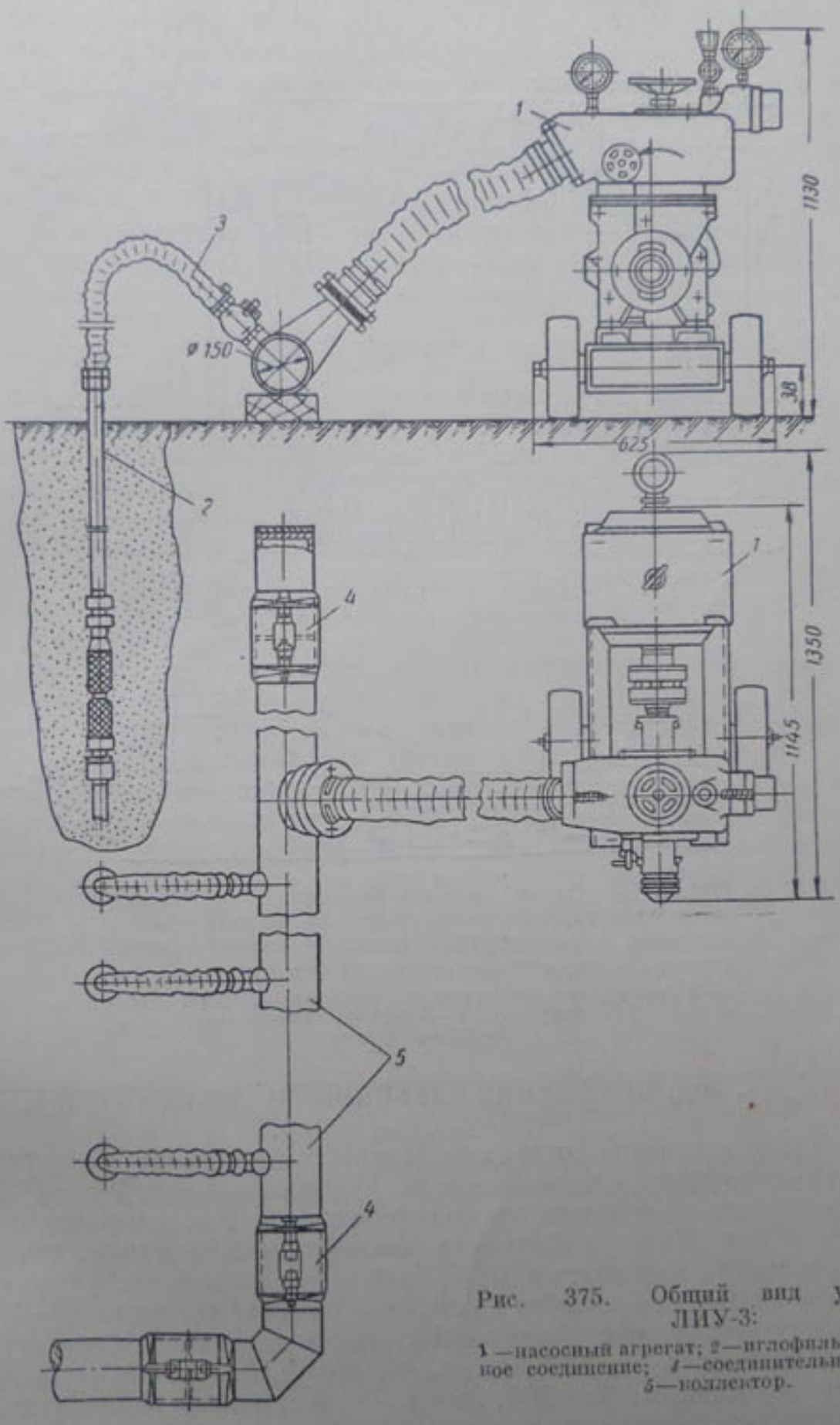


Рис. 375. Общий вид установки ЛИУ-3:

1—насосный агрегат; 2—иглофильтр; 3—гибкое соединение; 4—соединительная муфта 5—коллектор.

д) поверхностный водоотлив открытыми канавами (рис. 376) предназначен для сбора открытыми канавами грунтовой воды, профильтровавшейся через откосы и дно выемки или котлована с отводом ее в колодцы, откуда она откачивается насосами за пределы выемки (котлована). Поверхностный водоотлив нередко успешно применяется и в качестве вспомогательного мероприятия к другим основным методам водопонижения (Сталинградгидрострой).

Электроосушение применяется значительно реже, чем рассмотренные выше способы водопонижения, и только для быстрого осушения глинистых и илистых грунтов пропусканием через них постоянного электрического тока (рис. 377).

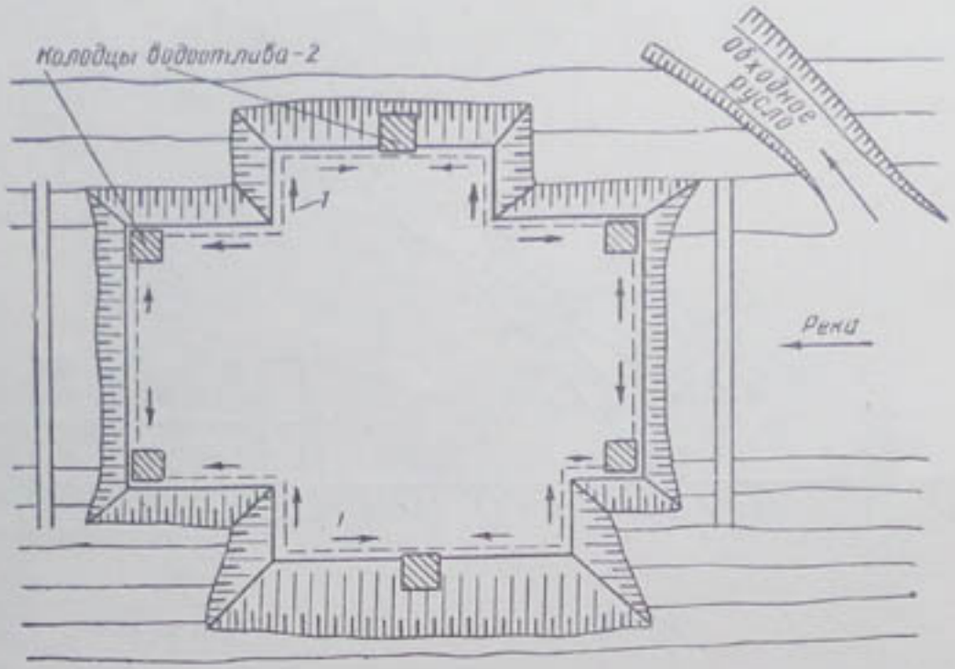


Рис. 376. Схема поверхностного водоотлива:
1—осушительные канавы; *2*—колодцы.

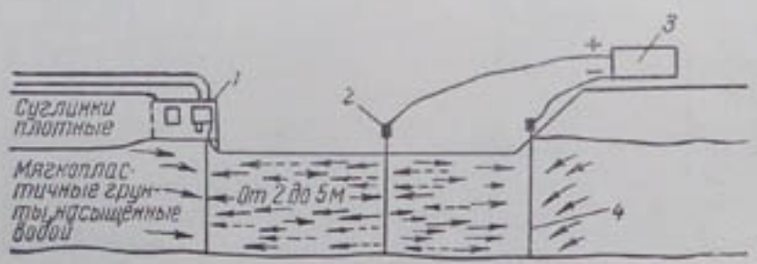


Рис. 377. Схема электродренажной установки (сплошные стрелки указывают направление движения воды, а пунктирные—движение частиц грунта, заряженных электричеством):
1—насосная станция передвижной водоотливной установки; *2*—электроды; *3*—генератор постоянного тока; *4*—иглофильтры.

§ 4. ВОДОПОНИЖЕНИЕ ГЛУБИННЫМИ СКВАЖИНАМИ

Глубинная установка состоит из центробежного насоса с вертикальным валом, установленного в скважине и погруженного в водоносный горизонт; насос приводится в действие от электродвигателя, установленного на поверхности земли. Ввиду небольшого диаметра насоса напор, создаваемый каждым колесом, невелик; поэтому для обеспечения требуемого напора насос составляется из большого количества рабочих колес (до 10—20 штук).

Наша промышленность выпускает насосы турбинного типа АТН, производительностью 30, 70 и 170 $м^3/час$ с напорами 25, 50, 75 и 100 *м*. Внутренний диаметр обсадных труб 200, 250 и 300 *м*, диаметр рабочих колес 131, 173 и 200 *мм*, число рабочих колес от 2 до 22, мощность электродвигателей от 5,8 до 105 *квт*.

Рабочим органом винтовых артезианских насосов (ВАН) является ротор, в виде однозаходного винта из нержавеющей стали, вращающийся внутри статора, представляющего собой двухзаходную винтовую поверхность из эластичной резины. К верхнему концу ротора прикреплен карданный вал, соединенный с приводным валом, установленным на поверхности земли.

При вращении ротора между ним и статором образуются полости, изменяющиеся в объеме. При увеличении объема полости в ней образуется вакуум, обеспечивающий всасывание воды, а при уменьшении объема полости в ней создается давление, в результате которого всасываемая вода вытесняется в нагнетательную трубу.

Винтовые насосы обладают способностью самовсасывания воды на высоту до 8,5 *м*. Производительность насосов ВАН-6 от 3 до 5 и ВАН-7 от 10 до 15 $м^3/час$; напор 60—100 *м*; минимальный диаметр скважин 125 и 150 *мм*; мощность электродвигателя 3,2 и 10 *квт*.

Осваивается выпуск глубинных насосов с подводными моторами типа АП, подвешенных на тросах. Существенные преимущества этих насосов: отсутствие длинного приводного вала, значительно меньший вес и больший к.п.д., чем у насосов АТН. Производительность насосов АП от 7 до 195 $м^3/час$; напор от 50 до 100 *м*; минимальный диаметр скважин 150—300 *мм*.

§ 5. ФИЛЬТРЫ

Фильтры являются важной частью как глубинных колодцев, так и других водопонизительных установок. От правильного их устройства зависит производительность водопонизительных установок и надежность их действия. Расчет частей фильтра и подбор нужной скважности оказывают большое влияние на их работу, главным образом на отсутствие пескования.

Основные данные, определяемые расчетом при проектировании фильтров, следующие: 1) подбор проходных отверстий фильтра и выбор его скважности; 2) подбор состава фильтрующей обсыпки и 3) назначение диаметра и рабочей длины фильтра.

Эти данные связаны с другими, им сопутствующими,—толщиной фильтрующей обсыпки, числом ее слоев, входными скоростями.

Основным фактором, определяющим размер проходных отверстий фильтра, является гранулометрический состав водоносного слоя; чем больше коэффициент его неоднородности, тем выше способность песчаных грунтов образовывать над отверстиями фильтра устойчивые сводики. Форма проходных отверстий фильтра существенно влияет на соотношение между размерами отверстий фильтра и частиц песка; для дырчатых фильтров это соотношение значительно выше, чем для щелистых. Увеличение длины прямоугольных щелей обычно не оказывает влияния на устойчивость сводиков. На основании исследований С. К. Абрамова[1] рекомендуется при определении размеров проходных отверстий фильтра пользоваться данными, приведенными в таблице 50.

Таблица 50

Тип фильтра	Размеры проходных отверстий	
	в однородных песках	в разнородных песках
Дырчатый	$(2,5 \div 3,0)\, d_{ср}$	$(3,0 \div 4,0)\, d_{50}$
Щелистый	$(1,25 \div 1,5)\, d_{ср}$	$(1,5 \div 2,0)\, d_{50}$
Сетчатый	$(1,5 \div 2,0)\, d_{ср}$	$(2,0 \div 2,5)\, d_{50}$

Примечания. 1. Для щелистых фильтров под размером отверстия следует понимать их ширину.

2. Меньшие значения отверстий относятся к мелкозернистым пескам, бо́льшие к крупнозернистым.

Расстояние между проходными отверстиями С. К. Абрамов рекомендует выбирать из условий обеспечения необходимой скважности и прочности фильтров. Для каркасно-стержневых (рис. 378) и проволочных (рис. 379)

[1] В. М. Гаврилко, С. К. Абрамов. Фильтры буровых скважин. Госстройиздат, М., 1954.

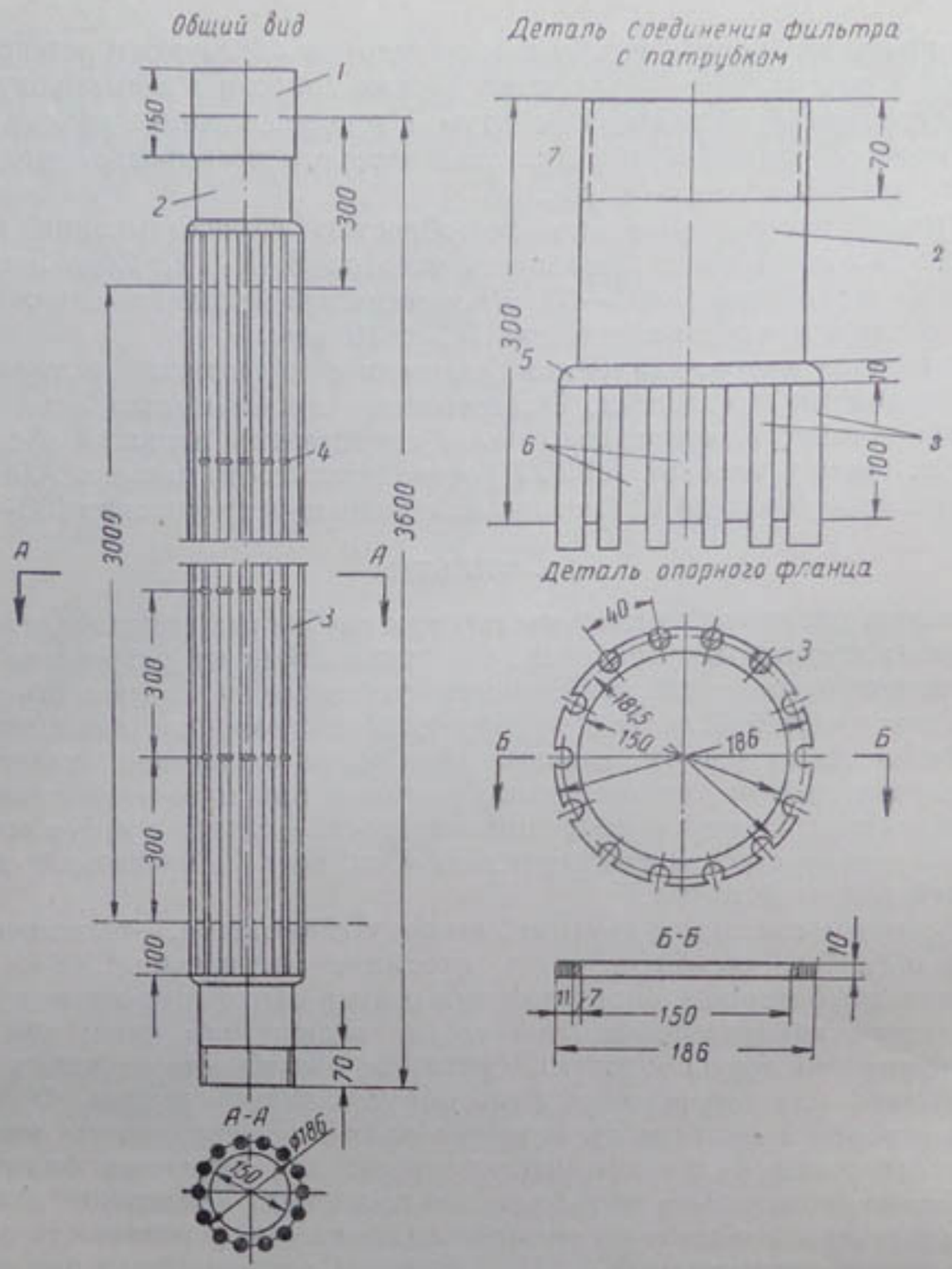


Рис. 378. Каркасно-стержневой фильтр:
1—муфта; *2*—соединительный патрубок; *3*—металлические стержни; *4*—опорные фланцы; *5*—кольцо-насадка; *6*—швы сварки; *7*—резьба на соединительных патрубках.

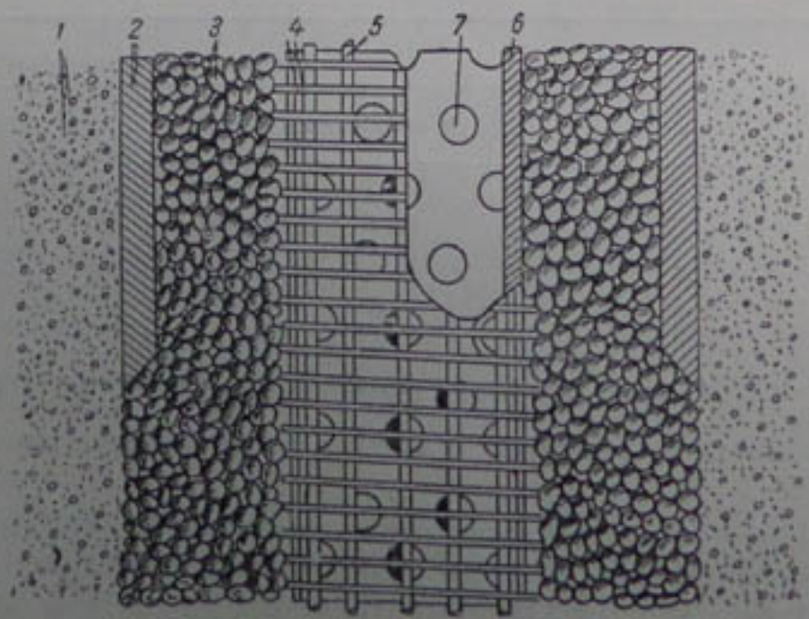


Рис. 379. Схема гравийно-проволочного фильтра:
1—водоносная порода; *2*—обсадная труба; *3*—гравийная обсыпка; *4*—проволочная спиральная обмотка; *5*—опорные ребра; *6*—опорный каркас на трубы; *7*—проходные отверстия.

фильтров можно принимать расстояния между витками проволочной обмотки по таблице 50 как для щелевых фильтров.

Для обеспечения водозахватной способности скважины необходимо обеспечить также достаточное количество отверстий, т. е. скважность фильтров.

При выборе скважности нужно учитывать сопротивления, вызываемые образованием мостиков из песка, а также физико-химическими и бактериологическими процессами на поверхности фильтров и в прилежащей зоне грунта.

По данным практики и исследований во ВНИИ Водгео, С. К. Абрамов рекомендует принимать скважность максимально возможной, исходя из условий их прочности и конструктивных возможностей, а именно: в дырчатых и щелистых фильтрах из труб 20—25%, в фильтрах с проволочной обмоткой или продольными стержнями 40—60%. Лишь в скважинах кратковременного действия при эксплуатации маловодных горизонтов можно пойти на снижение скважности до 10—15%.

Подбор фильтрующих обсыпок для гравийных фильтров, в которых тот или иной фильтровой каркас обсыпается песчано-гравелистым материалом, оказывает существенное влияние на эффективность фильтров. На основе практики, лабораторных и натурных исследований С. К. Абрамов дает следующие рекомендации.

1. Соотношение в смежных слоях $\frac{D_{50}}{d_{50}} = 5$ — в фильтрах, обсыпаемых в скважины, до $\frac{D_{50}}{d_{50}} = 10$ — в фильтрах, обсыпка которых (полная или только для внутреннего слоя) монтируется на поверхности земли; количество частиц меньше 0,1 *мм* не должно превышать 5%.

2. Обсыпка должна состоять не более чем из двух слоев, подбираемых как по указанным соотношениям $\frac{D_{50}}{d_{50}}$, так и по допустимым размерам проходных отверстий.

3. Коэффициент неоднородности должен быть $\leqslant 5$.

4. Толщина слоев от 30—40 *мм*—в фильтрах, обсыпка которых производится на поверхности, до 40—50 *мм*—в фильтрах, обсыпаемых в скважину непосредственно с поверхности земли. Для вычисления разницы горизонтов Δh снаружи скважины и внутри ее (скачка), образующейся главным образом вследствие сопротивления породы, непосредственно примыкающей к стенкам скважины, предлагается формула:

$$\Delta h = a \sqrt{\frac{QS}{KF}}, \qquad (132)$$

где Δh — величина скачка в *мм*;
Q — дебит скважины в $м^3/сутки$;
K — коэффициент фильтрации водоносного слоя в *м/сутки*;
S — понижение уровня в скважине;
F — рабочая площадь фильтра в $м^2$;
a — коэффициент; для сетчатого и гравийного фильтра $a = 15 \div 25$, для дырчатого, щелистого и проволочного фильтров $a = 6 \div 8$.

В скважинах упрощенного временного типа указанные значения коэффициента a следует увеличивать в 1,25—1,5 раза.

Допустимые значения входных скоростей. С. К. Абрамов предлагает формулу для определения предельно допустимых скоростей $v_{пр}$ для нормальной эксплуатации скважин:

$$v_{пр} = 65 \sqrt[3]{K},$$

где $v_{пр}$ — предельно допустимая входная скорость в *м/сутки*;
K — коэффициент фильтрации водоносного пласта в *м/сутки*.

Размеры фильтров, т. е. его длина и диаметр, определяются, исходя из дебита скважин, условий залегания водоносных горизонтов и характера водоносных пород. При чередовании водоносных горизонтов с водоупорными применяют фильтры, составленные из отдельных звеньев, располагают их таким образом, чтобы рабочая часть каждого слоя приходилась против водоносного слоя, а глухая часть против водоупорного.

Для определения наружного диаметра фильтра С. К. Абрамов предлагает формулу:

$$d = a\frac{Q}{l_0 v_{\text{пр}}},$$

где Q — ожидаемый дебит скважины в $м^3/час$;
l_0 — длина фильтра в $м$ при $v_{\text{пр}}$ в $м/сутки$;
a — коэффициент, равный 7643.

Конструкция фильтров. В настоящее время для целей водопонижения наибольшее распространение получили гравийные фильтры, в которых в качестве опорных каркасов применяются трубы с щелевидными отверстиями, перфорированные трубы с проволочной спиральной обмоткой и стержневые каркасы с проволочной спиралью, образующей щели большой длины.

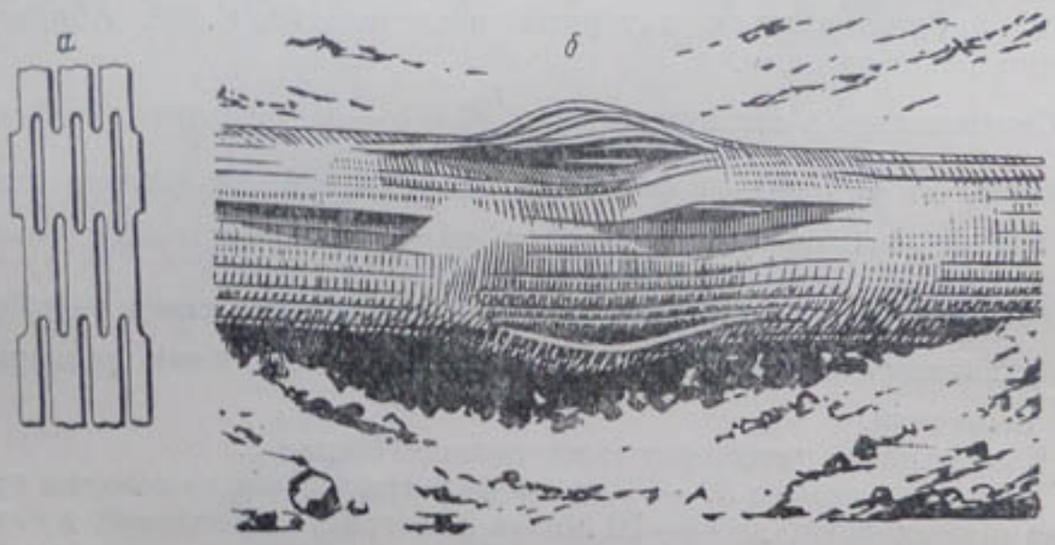


Рис. 380. Щелевые фильтры:
а — проходные отверстия на щелевых фильтрах на буровых трубах; б — излом на щелевом фильтре.

Трубчатые щелевые фильтры имеют отверстия прямоугольной формы, расположенные в шахматном порядке (рис. 380, *а*). На Куйбышевгидрострое применялись исключительно трубчатые щелевые фильтры следующих конструктивных размеров: диаметр 219—325 *мм*, длина щелей 250 *мм*, ширина их на внешней поверхности трубы 1,5—2 *мм* и на внутренней 0,4—0,5 *мм*; расстояние между щелями по окружности трубы 80 *мм* и по длине трубы 50 *мм*. Щели располагались в шахматном порядке и нарезались газовой резкой при помощи резаков с отверстиями 0,3—0,5 *мм*. По подсчетам В. М. Гаврилко скважность таких фильтров равна 1,3—1,4%, что совершенно недостаточно.

На Сталинградгидрострое ширина щелей фильтров была принята равной 3 *мм*, а расстояние между ними 30 *мм*. При таких щелях скважность опорного каркаса достигает 10%. Принятая длина щелей 0,5 *м* слишком велика, так как при этом трубы становятся очень чувствительными к ударам, часто возникают прогибы между щелями и изломы при волочении фильтров по земле (рис. 380, *б*). По мнению В. М. Гаврилко, для увеличения механической прочности каркасов длину щелей следует сократить до 0,25—0,30 *м*.

Фильтр из перфорированной трубы с проволочной спиральной обмоткой показан на рисунке 381. Перфорированная труба *1* обтягивается по спирали железной оцинкованной проволокой, приварі-

ваемой к трубе в нескольких местах. Поверх проволоки накладывается медная или железная оцинкованная сетка, привариваемая в верхнем и нижнем концах к проволоке, а по продольному шву припаивается металлическая пластинка. Продолжительность работы сетки от 3 месяцев до 1 года.

Гравийно-проволочный фильтр малого сопротивления, предложенный Ф. С. Бояринцевым[1], показан на рисунке 379. Этот фильтр получил довольно широкое распространение на обводнительных работах в Алтайском крае, Курской и Московской областях. Фильтр состоит из опорного трубчатого каркаса *6* с проходными отверстиями *7*, продольных опорных ребер *5* из проволоки диаметром 3—5 *мм*, на которые опирается проволочная спиральная обмотка *4* из проволоки диаметром 0,8—2 *мм*. Опорные ребра увеличивают поверхность фильтрации и создают более свободный доступ к проходным отверстиям. Ребра ставятся по образующей на расстоянии 30—40 *мм* друг от друга и привариваются к трубе.

Ребра и обмотку рекомендуется делать из нержавеющей стали. Скважность фильтра изменяется в пределах от 20 до 27%.

Применение проволочной конструкции фильтра в комбинации с гравийной отсыпкой позволили увеличить водозабор из некоторых скважин в три раза—с 20 до 72 *м*³/*час*.

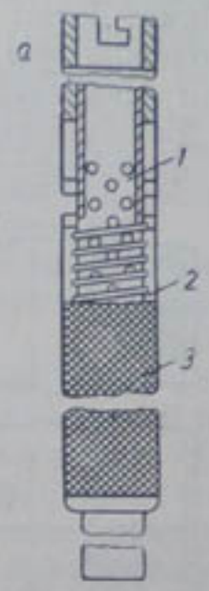


Рис. 381. Фильтр с перфорированными отверстиями, с проволочной спиральной обмоткой:
1—дырчатая труба; *2*—проволочная обмотка; *3*—сетка; *4*—сетка галунного плетения.

Каркасно-стержневые фильтры, предложенные В. М. Гаврилко[2], имеют бо́льшую, чем у других фильтров, фильтрующую поверхность (рис. 378) (из проволочной обмотки или сетки). В галечниках, гравии и крупнозернистых песках каркасно-стержневые фильтры применяют без гравийной засыпки, а в средне- и мелкозернистых песках для увеличения дебита скважин и предупреждения зарастания фильтров рекомендуется гравийная засыпка.

Скважность каркасно-стержневого фильтра значительно больше, чем проволочно-гравийного (65 и 20%), а площадь одного отверстия в 100 раз больше одного отверстия на дырчатой трубе. Это весьма существенно, так как срок службы фильтров зависит в основном от двух указанных факторов. Кроме того, напор на преодоление сопротивления фильтра меньше, а дебит скважин больше, чем в иных типах фильтров (при откачках дебит скважин изменялся от 3,3 до 6 *л*/*сек*, при понижении на 5 *м*).

Расход металла для изготовления этого фильтра почти на 50% меньше, чем в дырчатом; необходимость сверления отверстий отпадает. Институт «Водгео» рекомендует эти фильтры к внедрению в производство.

Каркасно-стержневые фильтры с проволочной обмоткой применялись на Сталинградгидрострое.

§ 6. ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ ПО УСТАНОВКЕ ГЛУБИННЫХ СКВАЖИН

Установка колодца производится в следующем порядке. Сначала производят бурение и опускают обсадную трубу диаметром на 50—100 *мм* больше наружного диаметра фильтра. Если предполагается делать фильтр с обсыпкой, то диаметр обсадной трубы соответственно увеличивается в зависимости от числа слоев обсыпки и толщины каждого слоя. В обсадную трубу

[1] Ф. С. Бояринцев. Проектирование и строительство высокодебитных трубчатых колодцев. Сельхозгиз, 1949.

[2] В. М. Гаврилко. Указания по изготовлению и внедрению каркасно-стержневых фильтров. Изд. «Водгео», М., 1950.

опускают фильтр и шестом проверяют правильность его расположения. Затем обсыпают фильтр на высоту около 50 *см*. После этого обсадную трубу медленно и осторожно поднимают, чтобы не повредить сетки и не нарушить обшивки; обсадную трубу поднимают на высоту, несколько меньшую слоя обсыпки. Затем снова производят обсыпку на 50 *см* и повторяют операцию. Постепенно всю обсадную трубу вынимают из земли и используют для проходки следующего колодца.

Для бурения скважин в плотных грунтах на Волгодонстрое и на Куйбышевгидрострое применялись станки ударно-канатного бурения Бу-2-20 Бузулукского завода и несколько реконструированные станки УКС-20 и УКС-30.

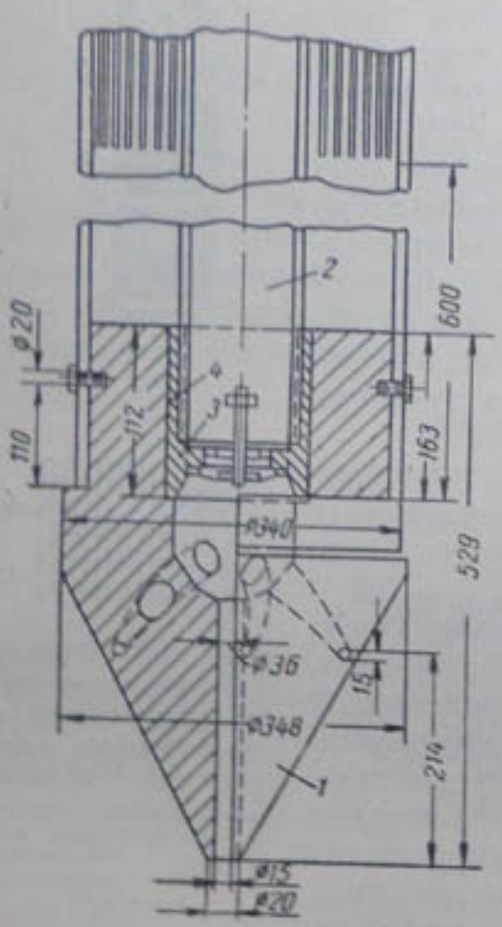


Рис. 382. Щелевой фильтр с размывающей насадкой:
1—насадка; *2*—водоподающая труба; *3*—клапан; *4*—гнезда клапана.

Необходимый диаметр бурения определяется по следующим соображениям. Наружные диаметры насосов АТН-8 и АТН-10 производительностью 30 и 70 $м^3/час$ равны 182 и 235 *мм*; соответственно необходимы диаметры фильтров, равные 200 и 250 *мм*, а с учетом возможного искривления скважин 250—300 *мм*. При толщине слоя песчано-гравийной отсыпки не менее чем 35—40 *мм* конечный диаметр бурения соответствует стандартным обсадным трубам диаметром 325 и 426 *мм*. При глубине свыше 25 *м* начальный диаметр бурения получается равным 426—529 *мм*. Для возможности подъема обсадных труб с глубины до 75 *м* на Волгодонстрое были сконструированы трубоподъемные копры с тяговым усилием от 180 до 560 *т* (предложение инж. Л. И. Гуртика).

Основное количество скважин глубинного водоотлива приходится на аллювиальные отложения, представленные в большинстве случаев песками; для ускорения бурения и посадки фильтра Ф. Ф. Энгелем разработан и внедрен в практику метод гидравлической проходки скважин (без изменения диаметра скважины) с помощью гидробура, допускающего прохождение скважин в мягких грунтах с прослойками крупнозернистых песков, мелкого гравия и гальки. В конце обсадной трубы помещен ряд насадок, в которые поступает напорная вода, размывающая грунт. Внедрение гидробурения резко сократило время прохождения скважины.

При гидробурении в грунте размывалась каверна диаметром, необходимым для погружения колонны обсадных труб. Размываемый грунт транспортировался по специальной пульпоотводной трубе, помещенной внутри обсадных труб, которые садятся под действием собственного веса. В случае зажима обсадных труб часть рабочей воды можно направлять в затрубное пространство, но лишь в количестве, необходимом для освобождения зажима без излишнего размыва затрубного пространства. Однако и при этом прогрессивном методе приходилось тратить значительное время на подъем обсадных труб после установки фильтра.

Для экономии времени Ф. Ф. Энгель предложил применять специальный насадок-наконечник (рис. 382), прикрепляемый непосредственно к фильтровой колонне; через него и осуществлялась гидропосадка фильтровой колонны под действием напорной воды, подаваемой по внутренней трубе диаметром 104 *мм* под давлением до 14 *атм*. Вследствие размыва грунта под фильтровой трубой образуется колодец диаметром около 800 *мм*, из которого нагнетаемая вода с размытым грунтом через затрубное простран-

ство подается на поверхность земли и отводится в сторону. Особое внимание при гидропосадке обращалось на обеспечение медленного подъема воды по затрубному пространству; при соблюдении этого условия из затрубного пространства выносятся только мелкие частички грунта, а более крупные (крупный песок, гравий) остаются во взвешенном состоянии и оседают только после окончания посадки фильтра. Поэтому, если фильтр проходит через крупные пески или прослойки гравия, то вокруг него образуется гравелисто-песчаная обсыпка. При отсутствии в грунте гравийных фракций в затрубное пространство засыпается гравий после окончания гидропосадки без прекращения подачи рабочей воды, но только с уменьшением ее расхода.

Если правильно вести процесс посадки фильтров, то, как показал опыт Волгодонстроя и Куйбышевгидростроя, глубина возможного погружения фильтра доходит до 50 *м* при диаметре труб до 426 *мм*[1].

Для борьбы с заклиниванием фильтровой колонны на Куйбышевгидростроe применялась также пневмогидропосадка фильтров; в этом случае вокруг верхней части наконечника к нему присоединялась кольцевая труба диаметром 32 *мм* с отверстиями через 30 *мм*, направленными вверх; к ней присоединялась вертикальная воздухоподающая труба (стояк) диаметром 37—50 *мм* с давлением воздуха до 6 *атм*. Воздух, смешиваясь с пульпой, поднимал ее вверх, чем предотвращался зажим труб.

Преимущество гидро- и пневмогидропосадки фильтровых колонн состоит в быстроте выполнения работ. Однако при этом способе нет уверенности в правильности распределения гравийной отсыпки вокруг каркаса, а это оказывает большое влияние на производительность скважины. Контрольные скважины показали в некоторых случаях, что гравийные отсыпки располагаются на более высоких отметках, чем установленные фильтры; это указывает на недоброкачественность обсыпки.

Для возможности гидравлической посадки труб на необходимую глубину на Куйбышевгидростроe вместо сооружения буровых вышек для гидробурения и посадки фильтров применяли экскаваторы с крановым оборудованием при длине стрелы от 23 до 28 *м*. При этом длина погружаемой колонны достигала 26 *м*, что при однократном наращивании давало возможность установки фильтровой колонны глубиной 50—52 *м*. Это нововведение дало значительную экономию времени.

На Сталинградгидростроe обсадные трубы опускались гидровиброметодом с использованием крана со стрелой длиной 23 *м* на базе экскаватора Э-1003 и вибропогружателя ВПП-2 конструкции Савинова и Лускина. Бригада рабочих состояла из 4—6 человек, скорость бурения по сравнению с канатно-ударным бурением повысилась в 10—15 раз, а стоимость 1 пог. *м* бурения уменьшилась почти в шесть раз.

Эксплуатация скважин на Сталинградгидростроe показала недопустимость гидравлического погружения непосредственно фильтровой колонны из-за невозможности доброкачественного выполнения гравийной обсыпки; из-за этого скважины сильно песковали[2]; длительность пескования изменялась от нескольких часов до нескольких месяцев.

Значительно лучшие результаты получались при погружении обсадных труб гидровиброметодом с установкой в дальнейшем фильтров обычным способом. Хорошие результаты дало также применение вибрационного метода для извлечения обсадных труб, на что требовалось при глубине извлечения, равной 20—30 *м*, всего 10—20 минут. Бурение скважин производится в следующем порядке. Готовится кондуктор *1* (рис. 383, *а*) из трубы диаметром 500—600 *мм* длиной 12—14 *м*, в которую вставляется труба *2* диаметром 100 *мм*, подающая напорную воду под давлением 20 *атм* и производитель-

---

[1] Ф. Ф. Эйгель. Производство водопонизительных работ на Куйбышевгидростроe. Госэнергоиздат, 1956.

[2] А. О. Шестопал. Глубинный водоотлив на строительстве Сталинградского гидроузла. Госэнергоиздат, 1956.

ностью 100 $м^3/час$. В конце кондуктора *1* в трубу вставляется насадка *3* После поднятия краном кондуктора и установки его в вертикальное положение пускают напорную воду и начинают гидропосадку кондуктора. После окончания ее насадка извлекается, в кондуктор устанавливается обсадная труба *4* (рис. 383, *б*) и насадка опускается на забой внутри обсадной трубы; затем на вторую секцию обсадной трубы с водоподающей трубой ставится вибратор *5* сверху кондуктора, присоединяемый к обсадной трубе отрезком шпунта, привариваемого к обсадной трубе.

После окончания посадки вибратор снимают, прекращают подачу воды, гидронасадку извлекают и устанавливают фильтр, удерживаемый на хомутах; к нему приваривается надфильтровая труба и фильтр опускается до конца. После этого в кольцевое пространство между обсадной трубой и фильтром производят гравийную отсыпку на глубину 4—5 *м*, вновь надевают вибратор, а обсадную трубу поднимают на 0,5—1 *м*. Эта операция продолжается и далее, пока сварной стык между двумя

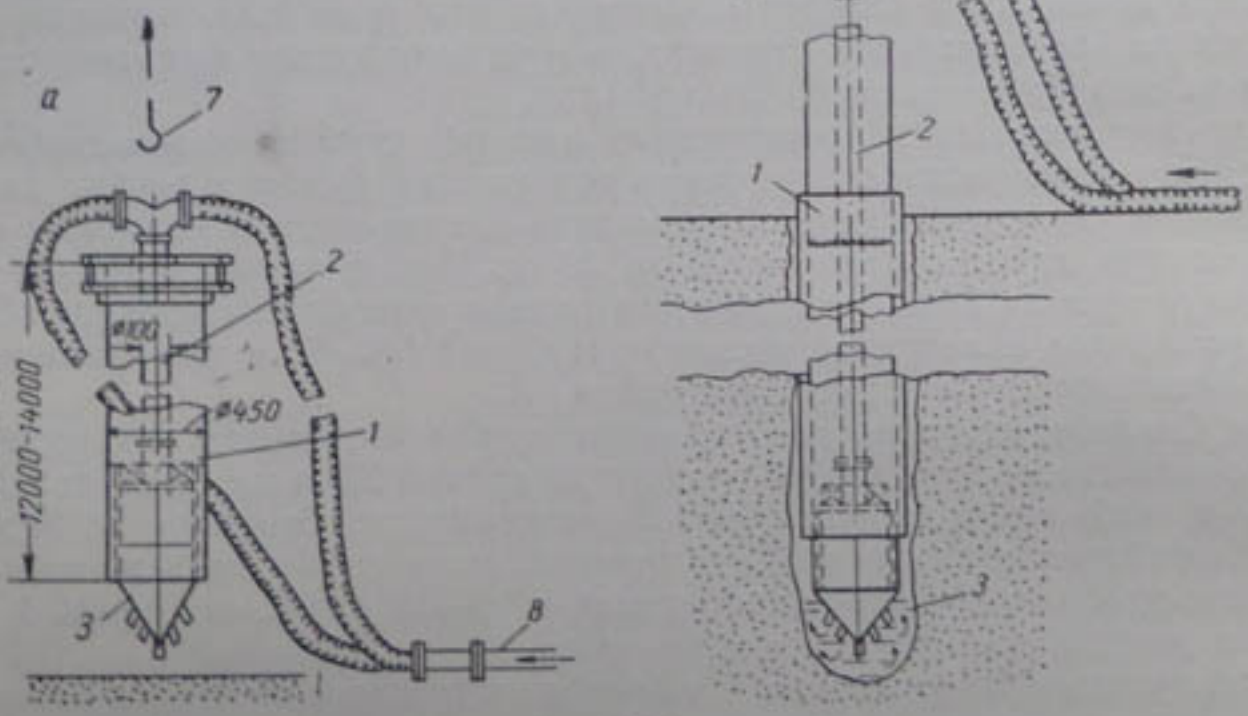


Рис. 383. Бурение скважин гидровиброметодом на Сталинградгидрострое:
1—кондуктор; *2*—водоподающая труба; *3*—насадка; *4*—обсадная труба; *5*—вибратор ВПП-2; *6*—отрезок шпунтины, привариваемый к обсадной трубе; *7*—крюк подъемного крана; *8*—труба от насоса.

звеньями труб не выйдет на поверхность, причем нижний конец трубы всегда должен быть на 1—2 *м* ниже гравийной отсыпки. Затем труба разрезается по сварному шву, досыпается гравий, снова надевается вибратор, извлекается нижняя секция обсадной трубы и делается засыпка неотсортированным материалом. Процесс заканчивается приваркой шпунтины к кондуктору, надеванием вибратора и извлечением кондуктора.

Для повышения качества гравийной отсыпки необходимо не только точно подбирать ее крупность, но и тщательно вести работы по отсыпке. Для равномерной кольцевой отсыпки гравия вокруг каркасов нужно ставить достаточное количество скоб (фонарей) на фильтровых колоннах. Необходимо также внимательно следить за центровкой фильтра.

§ 7. ПЕРЕДВИЖНЫЕ ВОДОПОНИЗИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ПВУ[1]

Водопонижение иглофильтровыми установками (рис. 374) было впервые предложено в СССР В. К. Ярцевым в 1936 г. Основные части установки: иглофильтры—фильтры диаметром 38—48 *мм*; коллектор, собирающий воду из системы иглофильтров; насосная установка, создающая необходимый вакуум в коллекторе и иглофильтрах.

Так как насосная станция располагается на поверхности земли, то одноярусная иглофильтровая установка может понизить уровень грунтовых вод на 4,5—5 *м*; при необходимости большого водопонижения приходится применять двух- или даже трехъярусную установку. Многоярусные установки загромождают котлован, создают ряд дополнительных неудобств; такое решение нерационально.

Малые диаметры и длины иглофильтров позволяют быстро устанавливать их, что является крупным достоинством. Однако при сравнительно малом дебите иглофильтров (0,5—0,8 *л/сек*) приходится ставить их часто; расстояния между иглофильтрами в среднем около 1 *м*; наибольшее 1,5—1,75 *м*, наименьшее 0,75 *м*.

Иглофильтры состоят из фильтрового звена *12* длиной 1 *м* с наконечником *13* и глухой надфильтровой трубы *14*, соединенных муфтой; они шарнирно соединяются с коллектором.

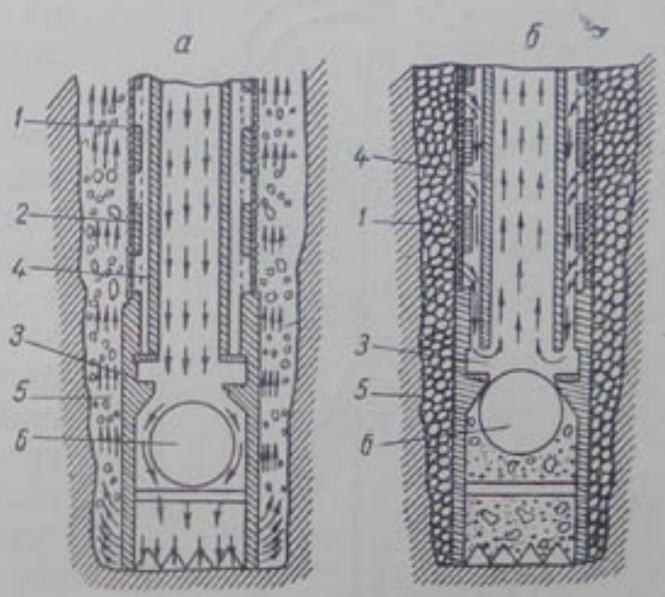


Рис. 384. Фильтр с наконечником:
а—в момент погружения; *б*—в момент откачки: *1*—засыпка крупным песком; *2*—перфорированная труба; *3*—кольцевой клапан; *4*—внутренняя труба; *5*—наружная труба; *6*—шаровой клапан.

Наконечник (рис. 384) с режущей коронкой имеет два клапана: шаровой клапан *6* перекрывает отверстие, ведущее в наконечник, а кольцевой клапан *3* перекрывает зазор между внутренней *4* и наружной *5* трубами.

Погружение иглофильтра производится водой, подаваемой в надфильтровую трубу под давлением от 3 до 10 *атм*. При этом вода поднимает кольцевой клапан, закрывающий кольцевой зазор межуд трубами *4* и *5*. Одновременно давлением воды шаровой клапан опускается и вода выходит под дно наконечника и поднимается затем вверх по затрубному пространству, размывая его.

При откачке профильтровавшейся воды кольцевой клапан благодаря вакууму опускается вниз и открывает фильтрующейся воде доступ во внутреннюю трубу *4*; шаровой клапан *6* и при этом прижат к седлу.

По опускании иглофильтра затрубный зазор промывается в 1—2 минуты напорной водой, после чего он засыпается до отметки естественного горизонта грунтовых вод крупным песком. Вышележащая часть затрубного зазора засыпается суглинком или глиной для предотвращения прорыва воздуха в иглофильтр через слой крупного песка.

При желании уширить засыпку наконечник обматывают короткой цепью в 1—2 витка, удерживаемой веревкой, привязанной к верху трубы. После погружения иглофильтра до проектной отметки он несколько раз поднимается и опускается на 0,5—1 *м* для разработки цепью затрубного зазора. Затем иглофильтр слегка приподнимается, веревка ослабляется, а цепь спадает с наконечника и извлекается.

Кроме цилиндрических наконечников типа буровой коронки, применяют еще конические наконечники.

---

[1] Опыт искусственного понижения уровня грунтовых вод на строительстве гидроэлектростанций.

Фильтр состоит из гофрированного латунного цилиндра, поверх которого расположена сетка, защищенная перфорированным латунным листом. Такая конструкция фильтра предохраняет сетку от повреждений при опускании и вытаскивании фильтра и промывке ее изнутри благодаря вертикальному движению воды в фильтре.

Глухие звенья иглофильтра делают из газовой трубы диаметром 38—48 *мм*, длиной около 6 *м* и соединяют с фильтром муфтой.

Коллектор диаметром 200 *мм* состоит из звеньев тонкостенных труб с патрубками через 0,75—1 *м* для присоединения иглофильтров. Концы звеньев гладко обрезаны встык и соединяются стяжными хомутами (резиновое кольцо и плотно охватывающая его стальная лента, снабженная стяжными болтами).

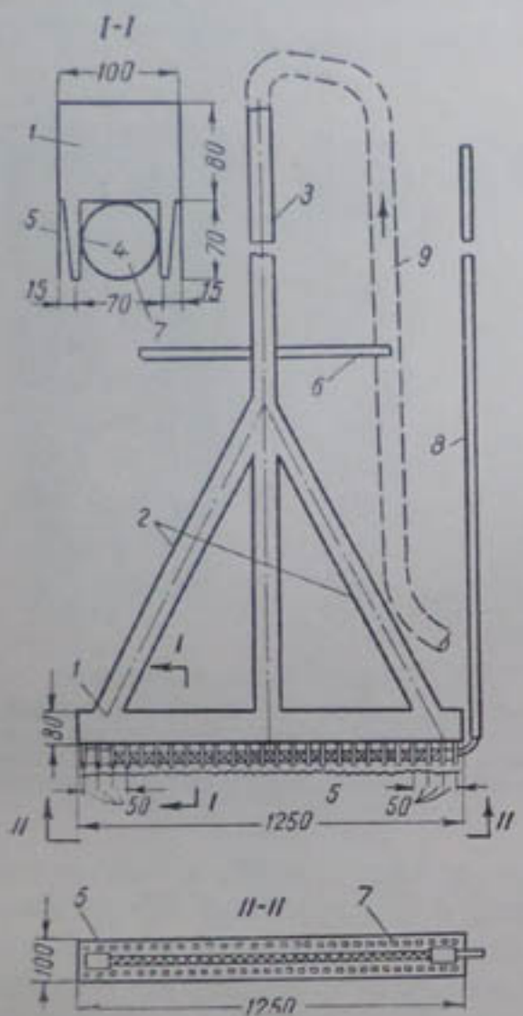


Рис. 385. Приспособление для гидравлического погружения иглофильтров с горизонтальной приемной частью:

1—камера; *2* и *3*—газовые трубы для подачи напорной воды; *4*—выпуски для воды; *5*—фрезы; *6*—ручки; *7*—иглофильтр; *8*—угловой отвод; *9*—шланги для воды.

Иглофильтры с горизонтальной приемной частью. На строительстве Краснооскольского гидроузла при необходимости понижать горизонт грунтовых вод иглофильтрами до водоупора выяснилось, что обычные иглофильтры не обеспечивают понижения динамического уровня ниже 0,9 *м* над наконечником фильтрового звена. По предложению И. В. Степанова, установка фильтровой колонны была произведена в горизонтальном положении, причем всасывающая часть иглофильтра практически ложилась на водоупор, что уменьшило мощность необходимого водоносного слоя до 0,5 *м*[1].

Внедрение этого предложения позволило отказаться от открытого водоотлива и вдвое увеличить расстояние между иглофильтрами (1,2 *м* вместо 0,6 *м*).

Иглофильтры погружались гидравлическим способом вдоль оси иглофильтрового ряда на глубину 3,5 *м* при напоре воды в 2—3 *атм* и расходе 8 *л/сек*. Приспособление для погружения показано на рисунке 385.

Для погружения иглофильтра вся система вместе с иглофильтром *7* устанавливалась в вертикальное положение и напорная вода подавалась к выпускам *4*. Так как сопротивление погружению иглофильтра с горизонтальной приемной частью больше, чем при погружении вертикальных иглофильтров, то в процессе погружения интенсивно раскачивалась вся система с помощью ручек *6*. По достижении приемной частью иглофильтра проектной отметки подаваемый расход снижался, все приспособление поднималось вверх, а иглофильтр под действием собственного веса оставался в проектном положении.

§ 8. ЭЖЕКТОРНЫЕ (ГЛУБОКИЕ) ИГЛОФИЛЬТРЫ

Эжекторные иглофильтры (ЭИ-4, ЭИ-6) с водоструйным насосом (эжектором) специальной конструкции могут осуществлять одноярусное водопонижение на глубину 15—18 *м*, не прибегая к многоярусным установкам.

[1] В. Т. Климов. Водопонижение иглофильтрами с горизонтальной приемной частью. «Гидротехническое строительство» № 5, 1957; А. П. Бегин. Подготовка котлована небольшого гидроузла под укладку бетона. «Гидротехническое строительство» № 1, 1957.

Установка водоструйного насоса в скважине показана на рисунке 386. Эжекторы позволяют создать значительный вакуум в пределах фильтрового звена, причем вакуум не нарушается и при подсосах воздуха.

Теоретический анализ и опытные данные[1] показывают, что вакуум, возникающий в полости фильтрового звена, распространяется также на определенную зону вокруг фильтра; благодаря этому эффект от создания

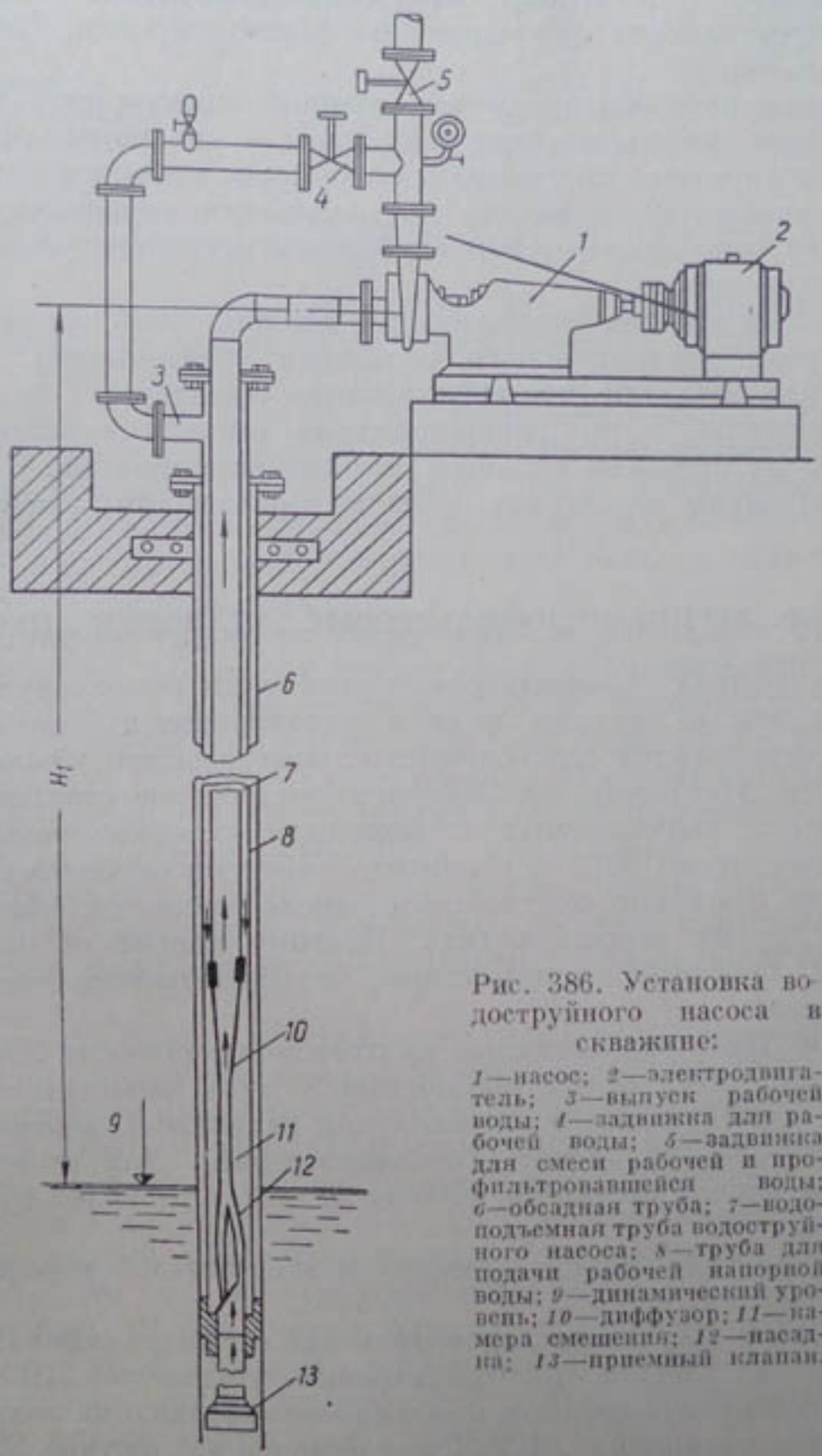


Рис. 386. Установка водоструйного насоса в скважине:

1—насос; *2*—электродвигатель; *3*—выпуск рабочей воды; *4*—задвижка для рабочей воды; *5*—задвижка для смеси рабочей и профильтровавшейся воды; *6*—обсадная труба; *7*—водоподъемная труба водоструйного насоса; *8*—труба для подачи рабочей напорной воды; *9*—динамический уровень; *10*—диффузор; *11*—камера смешения; *12*—насадка; *13*—приемный клапан.

вакуума не ограничивается увеличением притока воды к скважине, а может быть использован для максимального приближения депрессионной кривой к линии водоупора. Это может иметь значение при недостаточной глубине водоупора от дна котлована; оно имеет место благодаря увеличению горизонтальных составляющих фильтрационных градиентов в нижней зоне и вертикальных в верхней зоне; вследствие этого увеличиваются скорости движения в нижней зоне и высота живого сечения фильтрующегося потока. Образование вакуума в слоях грунта, плохо отдающих воду, но легко раз-

[1] Г. М. Мариупольский. Опыт строительного водопонижения и задачи научных исследований в этой области. Госэнергоиздат, 1956.

жижающихся в откосах и основании выемки, помогает их стабилизировать за счет разницы давлений атмосферного воздуха и в осушаемом слое.

Эжекторные иглофильтры обладают и другими достоинствами: отсутствием механизмов или движущихся частей внутри скважин, гидравлическим погружением и т. д.

Поэтому эжекторное водопонижение, несмотря на низкий к.п.д. водоструйных насосов (0,28—0,32), получило в последние годы довольно широкое распространение (Горьковская, Новосибирская, Каховская ГЭС и другие объекты).

С технико-экономической точки зрения эжекторное водопонижение рационально при небольших притоках воды к скважине, близком расположении дна осушаемого котлована к водоупору, непродолжительном сроке откачки для ускорения ее начала и уменьшения первоначальных затрат, связанных, например, с монтажом глубинных насосов и устройством скважин большого диаметра.

Существовало мнение, что эжекторы должны быть обязательно расположены на уровне динамического горизонта (подтоплены). Исследования Л. Г. Воробкова показали, что эксплуатация эжекторных иглофильтров на «вакуумном режиме», т. е. расположенных выше динамического уровня грунтовых вод за стенками скважин, вполне рациональна.

Это значительно расширяет область применения эжекторных иглофильтров.

§ 9. ЛЕГКИЕ ИГЛОФИЛЬТРОВЫЕ УСТАНОВКИ ЛИУ[1]

На гидростройках иглофильтровые установки используются, как правило, в сочетании с другими видами водопонизительного оборудования и обычно рассматриваются как вспомогательное средство. Однако они широко применяются. Например, на Сталинградгидрострое стоимость водопонизительных работ, выполняемых с помощью иглофильтровых установок ПВУ, составляет около 30% от стоимости работ по глубокому водопонижению; такое же примерно соотношение имело место на Волгодонстрое и на некоторых других строительствах. Поэтому вопрос об экономичности, надежности и простоте эксплуатации иглофильтровых установок имеет важное значение.

Между тем ПВУ, рассчитанные на производительность 300—400 $м^3/час$ и обслуживаемые двигателями мощностью 55 *квт*, зачастую имеют приток воды не более 100—120 $м^3/час$ (Цимлянский гидроузел), а нередко и значительно меньший—55—91 $м^3/час$ (Горьковгэсстрой). Для откачки расходов в 120 $м^3/час$ достаточна мощность, равная 20 *квт*, а расходов 40—60 $м^3/час$—10 *квт* и менее.

Сказанное выше объясняет причину неэкономичной работы ПВУ даже на крупных объектах.

В связи с этим Научно-исследовательский институт оснований и фундаментов разработал легкие иглофильтровые установки ЛИУ-2, ЛИУ-3, ЛИУ-5 различной производительности с самовсасывающими вихревыми насосами. Общий вид установки ЛИУ-3 представлен на рисунке 375. Вес установки, состоящей из двух насосных агрегатов ЛИУ-3, 60 иглофильтров, всасывающего коллектора диаметром 150 *мм* и всех необходимых коммуникаций, составляет 5,5 *т*.

Производительность установок ЛИУ-2, ЛИУ-3 и ЛИУ-5 соответственно 30, 60 и 120 $м^3/час$, а вес их 292, 362 и 679 *кг*; мощность электродвигателей 5,5, 10 и 20 *квт*.

Данные об эффективности применения установок ПВУ и ЛИУ-3 на работах по водопонижению в среднезернистых песках приведены в таблице 51.

[1] Г. М. Мариупольский. Опыт строительного водопонижения и задачи научных исследований в этой области. Госэнергоиздат, 1956; М. Н. Фуксов. Иглофильтровые установки для мелкого водопонижения. Госэнергоиздат, 1956.

Таблица 51

Наименование	Единица измерения	Тип установки	
		ПВУ	ЛИУ-3
Мощность установленных моторов	*квт*	55,0	10,0
Фактическое количество откачиваемой воды	*м³/час*	100,0	60,0
Количество установленных иглофильтров	шт.	100,0	28,0
Вес установки	*т*	10,7	2,5
Удельная мощность	*квт/м³/час*	0,5	0,17
Удельный вес установки	*кг/м³/час*	107,0	42,0
Удельный вес агрегатов	*кг/м³/час*	17,3	4,9

§ 10. ВОДОПОНИЗИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ НА ГИДРОСТРОЙКАХ

Наиболее часто применяется глубинное водопонижение из скважин большого диаметра со вставленным в них насосом.

На Волгодонстрое было установлено 444 глубинных насоса средней глубиной 26 *м*, для которых было пробурено 11 544 *м*; фильтры длиной до 10 *м* имели диаметр 250—300 *мм*. Широко применялись передвижные водопонизительные установки ПВУ; было смонтировано 188 таких установок с посадкой гидравлическим способом около 18 000 *м* иглофильтров диаметром 65 *мм*; общий расход откачиваемой воды из глубинных скважин и ПВУ на Волгодонстрое составлял 3,4 *м³/сек*.

На Цимлянском гидроузле была осушена площадь в 50 *га*.

Еще в бо́льших масштабах применялось водопонижение на Куйбышевгидрострое, где была осушена площадь в 225 *га*. Было достигнуто водопонижение на глубину более 50 *м* в котловане ГЭС, около 28 *м* в котловане бетонной плотины, около 12 *м* по верхним и около 30 *м* по нижним шлюзам. Всего было установлено около 1110 глубинных насосов по периметру сооружений, поставленных на расстоянии 15—40 *м*; в некоторых случаях применялись два и даже три ряда (нижний шлюз) скважин. Откачивалось до 12,5 *м³/сек*. Кроме глубинных насосов, на Куйбышевгидрострое применялись передвижные водопонизительные установки, имевшие главным образом вспомогательное значение.

Сложной была работа по тампонажу и ликвидации скважин. В результате трехлетнего воздействия агрессивных вод многие фильтры обрывались при извлечении их из скважин и в этих условиях был невозможен рациональный тампонаж. Поэтому для ликвидации скважин фильтры забивались бетоном на всю их глубину, а стволы скважин цементировались.

На Сталинградгидрострое предусмотрено было сделать 615 скважин с глубинными насосами, расставленными через 15—20 *м* и реже, глубиной от 12 до 46,5 *м* —по водопонизительным скважинам и до 36 *м* по разгрузочным. В водопонизительных глубинных скважинах расходы изменялись от 5 до 30 *м³/час* (в среднем 13—15 *м³/час*). Кроме того, по контуру низового и верхового ковша плотины были предусмотрены установки передвижных водопонизительных установок ПВУ.

Интересной особенностью водопонижения явилось использование низового ковша, заглубленного на 8—10 *м* ниже основания плотины и отрытого в первую очередь; по дну его отрывались водосборные канавы, вода из которых собиралась в зумпфы и откачивалась. Со стороны верхнего бьефа котлована плотины был специально отрыт только для целей водопонижения верховой ковш глубиной на 6—8 *м* ниже отметки основания плотины. Заблаговременная отрывка ковшей под защитой ПВУ позволила сократить число скважин и увеличить расстояние между ними до 30—45 *м* вместо 15 *м*.

Приток воды в котлован, откачиваемой насосами поверхностного водоотлива, составил около 250—300 *м³/час*, или около 12—14% от количества воды, откачиваемой насосами глубинного водоотлива.

Использование поверхностного водоотлива позволило сократить 110 скважин глубинного водоотлива и уменьшить мощность двигателей на 1100 *квт*[1].

Принцип использования в качестве дополнения к глубинным скважинам глубоких открытых траншей поверхностного водоотлива, более дешевых и простых в выполнении, чем глубинные насосы, можно рекомендовать, если при этом не происходит вынос восходящими токами мелких частиц из основания и его разрыхление; особенно уместно такое решение при наличии в проекте плотины верхового и низового ковшей, которые для удешевления водопонижения следует выполнять в первую очередь.

В целях водопонижения на строительстве Горьковской гидроэлектростанции, наряду с применением легких иглофильтровых установок (1300 штук), осушение глубокого котлована одного из шлюзов впервые в подобных масштабах было осуществлено эжекторными иглофильтрами, установленными в один ряд. По периметру котлована было установлено 198 иглофильтров на расстоянии 10 и 6 *м* между ними. Каждая из насосных установок обслуживала 33 иглофильтра; полный расход рабочей воды для всей системы водопонижения 300 $м^3/час$.

На строительстве сочеталось применение легких иглофильтровых установок с поверхностной откачкой и с замораживающей установкой (в котлованах водосливной плотины и здания ГЭС). Горизонт воды в котловане был снижен на 13,5 *м* ниже статического уровня; расход откачиваемой воды был 1800—2000 $м^3/час$.

На строительстве Каховской гидростанции[2] основное водопонижение в большом котловане площадью 170 тыс. $м^2$ (плотина и гидростанция) производилось глубинными насосами, а в малом котловане площадью 16,8 тыс. $м^2$ эжекторными иглофильтрами ЭИ-6.

Эжекторные иглофильтры диаметром 168 *мм* были погружены до кровли известняков на 22 *м*, расстояние между ними 8 *м*, общее число иглофильтров 272, производительность их 8—14 $м^3/час$; рабочая вода подавалась под давлением 8 *атм*, установленная мощность электродвигателей 7490 *квт*. Понизить уровень грунтовых вод на 16 *м*, как это требовалось для производства земляных и бетонных работ, не удалось; это произошло в результате того, что эжекторные иглофильтры были погружены только до кровли чрезвычайно водоносных известняков. Некоторые из иглофильтров были заглублены в известняки, и это существенно усилило эффект водопонижения на этих участках.

Для форсирования работ по зачистке котлована и борьбы с периодически появлявшимися ключами у подошвы его откосов было смонтировано 1315 легких иглофильтров, оказавшихся весьма маневренным, оперативным надежным средством местного водопонижения; система легких иглофильтров способствовала уплотнению разрыхленных песков. В разных местах котлована для борьбы с ключами было дополнительно установлено 5 насосов АТН-8 и 15 насосов АТН-10А. Общая установленная мощность электродвигателей всех водопонизительных установок составила 10 000 *квт*, или около 0,6 *квт* на 1 $м^2$ площади малого котлована по дну; стоимость осушения составила 1 руб. 15 коп. на 1 $м^3$ объема котлована. В большом котловане было установлено 112 трубчатых колодцев глубиной 35—40 *м* с насосами АТН-10 и АТН-10А, с щелевыми, сетчатыми и проволочными фильтрами; последние работали весьма удовлетворительно, без признаков выноса частиц грунта, что имело место в щелевых фильтрах. Расстояние между колодцами изменялось в пределах 15—35 *м*. Горизонт грунтовых вод в большом котловане был понижен быстро, устойчиво и эффективно; надобности в дополнительном осушении откосов и дна котлована не было; стоимость водопонижения составила 29 коп. на 1 $м^3$ объема котлована. От начала осушения боль-

---

[1] С. Р. Медведев и Ф. И. Емельянов. Разработка котлована бетонной плотины Сталинградского гидроузла. «Гидротехническое строительство» № 10, 1956.

[2] А. П. Бегин. Осушение котлованов Каховской ГЭС. «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 4, 1954.

шого котлована до начала бетонных работ прошло 53 суток и 90 суток—по малому котловану.

В гидрогеологических условиях Каховского гидроузла система водопонижения большого котлована из глубоких колодцев с насосами АТН-10А оказалась, по мнению строителей, более надежной, компактной, экономичной, менее энергоемкой и громоздкой, чем эжекторная система малого котлована.

Автоматизация работ. Для эффективной и экономичной работы водопонизительных установок важное значение имеет применение автоматизации. На Сталинградгидрострое разработана и внедрена[1] схема и конструкция автоматического управления работой насосов водоотлива, отвечающая требованиям:

а) автоматического включения насоса в работу при подъеме воды до заданного верхнего уровня; б) автоматического включения насоса при откачке воды из скважины ниже заданного нижнего уровня; в) защиты электродвигателя насоса, в том числе при перегорании одной из фаз; г) сигнализации работы автомата; д) возможности управления насосом вручную при отключенной автоматике.

На Куйбышевгидрострое, Каховгэсстрое, Горьковгэсстрое проводились опытные работы по автоматизации и сигнализации работы водопонизительных установок.

Электроосушение. Электрический способ осушения[2] основан на открытии, сделанном русским ученым Рейсом; он установил, что под воздействием электрического тока в водонасыщенном глинистом грунте вода под действием разности потенциалов перемещается от анода к катоду (электроосмос), что приводит к осушению и уплотнению глинистых грунтов. Явлению электроосмоса сопутствует электрофорез, т. е. движение частиц подверженного электризации грунта в противоположном направлении (рис. 377). В качестве положительных электродов применяют стержни, трубы, а отрицательными являются иглофильтровые установки, к которым и направляются токи грунтовой воды. Благодаря электрофорезу в грунте образуются свободные пути фильтрации, что увеличивает дебит иглофильтров и обеспечивает незаиляемость фильтров.

Электроосушение было применено на Волгодонстрое при вскрытии котлована размером 8×17 *м* в илистом грунте; осушение грунта на глубину 1,5 *м* было достигнуто за 24 часа.

На одном строительстве в 1950 г. электроосушением был осушен котлован 21×8,5 *м* глубиной 3 *м*, сложенный из сильно илистого, слабоуплотненного водонасыщенного грунта, легкопереходившего под действием гидродинамического давления в подвижное состояние. Мощность генератора постоянного тока составляла 9,6 *квт*. Коэффициент фильтрации грунта изменялся от 0,20 до 0,10 *м/сутки*.

В 1952 г. электроосушение было применено при разработке траншеи[3] глубиной до 9 *м*, шириной 4,7 и длиной 60 *м*, проходившей в водонасыщенных супесях, легко переходивших в плывуны. Электроосушение было применено в комбинации с вакуумированием при разрежении, равном 450 *мм* рт. ст. Дебит 100 иглофильтров составлял 4,3—4 *м*^{3}*/час*; мощность генераторов постоянного тока 19 *квт*. За трое суток откачки уровень воды снизился на 4,5 *м*, влажность суглинков (32%) изменилась незначительно, а влажность супесей снизилась с 32,8 до 17%. Суглинки и супеси перешли из текучего в сильно уплотненное состояние и с трудом поддавались разработке лопатой. Расстояние между анодным и катодным рядом при элек-

---

[1] А. А. Смоляр. Опыт Сталинградгидростроя по автоматизации управления насосами глубинного водоотлива. Госэнергоиздат, 1956.

[2] Б. А. Ржаницын. Применение постоянного электрического тока для осушения глинистых грунтов. Машстройиздат, 1949.

[3] Б. С. Федоров. Опыт электроосушения глинистых грунтов. «Строительная промышленность» № 5, 1953.

троосушении принималось около 1 *м*, а расстояние между электродами 1—1,2 *м*.

Опыт и лабораторные исследования показывают, что электроосушение может быть применено в грунтах, имеющих коэффициент фильтрации менее 0,05 *м/сутки*, в которых другие способы водопонижения мало эффективны. Для осушения котлованов глубиной до 5 *м* следует применять плотность тока в сечении между электродными рядами в 1 $а/м^2$. Затрата электроэнергии на 1 $м^3$ осушенного грунта изменяется от 2 до 10 *квт·ч*.

При электроосушении нужно иметь в виду, что создаваемое электрическое поле небезопасно для людей и животных, в связи с чем необходимо соблюдать требования техники безопасности.

Некоторые технико-экономические показатели. Фактические стоимости строительно-монтажных работ и эксплуатационных затрат на 1 пог. *м* контура водопонижения составляли на Каховском гидроузле 8,45 руб. и 10,74 руб., Куйбышевском гидроузле—4,17 руб. и 17,45 руб. и на Сталинградском—1,42 руб. и 16,30 руб.

Фактическая стоимость 1 $м^3$ откаченной воды на Каховском гидроузле была 0,24 руб., на Сталинградском—0,82 руб.

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

СВАЙНО-ШПУНТОВЫЕ РАБОТЫ

Глава XXXI

МЕХАНИЗАЦИЯ СВАЙНО-ШПУНТОВЫХ РАБОТ[1]

§ 1. НАЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ СВАЙ

Сваи представляют собой деревянные, железобетонные или металлические стержни-стойки, служащие для повышения несущей способности слабых оснований сооружений, либо входящие в состав сооружения в виде ограждающих конструкций. Материал, глубина погружения и расположение свай зависят от их назначения, характера и типа сооружения, гидрогеологического строения и механических свойств грунтов основания, места и размера прилагаемых нагрузок.

Деревянные несущие сваи применяются в сравнительно небольших сооружениях и приготавливаются из хвойных или лиственных доброкачественных бревен диаметром 26—32 *см*, длиной от 4 до 15 *м*. Нижняя часть деревянной сваи заостряется на длину 1,5—3 диаметра и при забивке в тяжелые грунты снабжается металлической оковкой—башмаком.

Железобетонные несущие сваи находят применение в свайных основаниях, несущих большие нагрузки, и при устройстве набережных. Наиболее употребительны железобетонные сваи квадратного сечения со стороной квадрата от 20 до 45 *см*. Длина таких свай может достигать 35 *м*, но обычно для упрощения производства работ не превышает 20—25 *м*.

Наибольший эффект следует ожидать от внедрения в практику предварительно-напряженных железобетонных свай.

Железобетонные сваи широко применяются в гидротехнике для возведения противофильтрационных завес в основаниях напорных сооружений, для защиты котлованов от осыпания грунта и просачивания воды, для сооружения стен набережных, камер шлюзов, эллингов, доков, пирсов, молов и пр.

Шпунтовые стальные сваи получили широкое применение и обладают рядом достоинств: большой механической прочностью, достаточной плотностью в конструкции ограждения; их можно погружать в тяжелые грунты с гравийно-галечными включениями; во временных сооружениях, например в перемычках, возможно использовать их многократно. Применение стальных шпунтовых свай должно быть строго ограничено, имея в виду необходимость экономии металла и высокую стоимость этих свай по сравнению с железобетонными.

Основные профили металлических шпунтовых свай—плоский и корытный (рис. 387). Шпунт плоского профиля применяется главным образом в конструкциях, работающих на поперечное растяжение при незначительных продольных усилиях (ячеистые шпунтовые конструкции). Шпунт корытного профиля получил наибольшее применение в конструкциях, работающих при сравнительно больших поперечных и продольных усилиях.

[1] Глава XXXI написана инж. В. С. Чубовым.

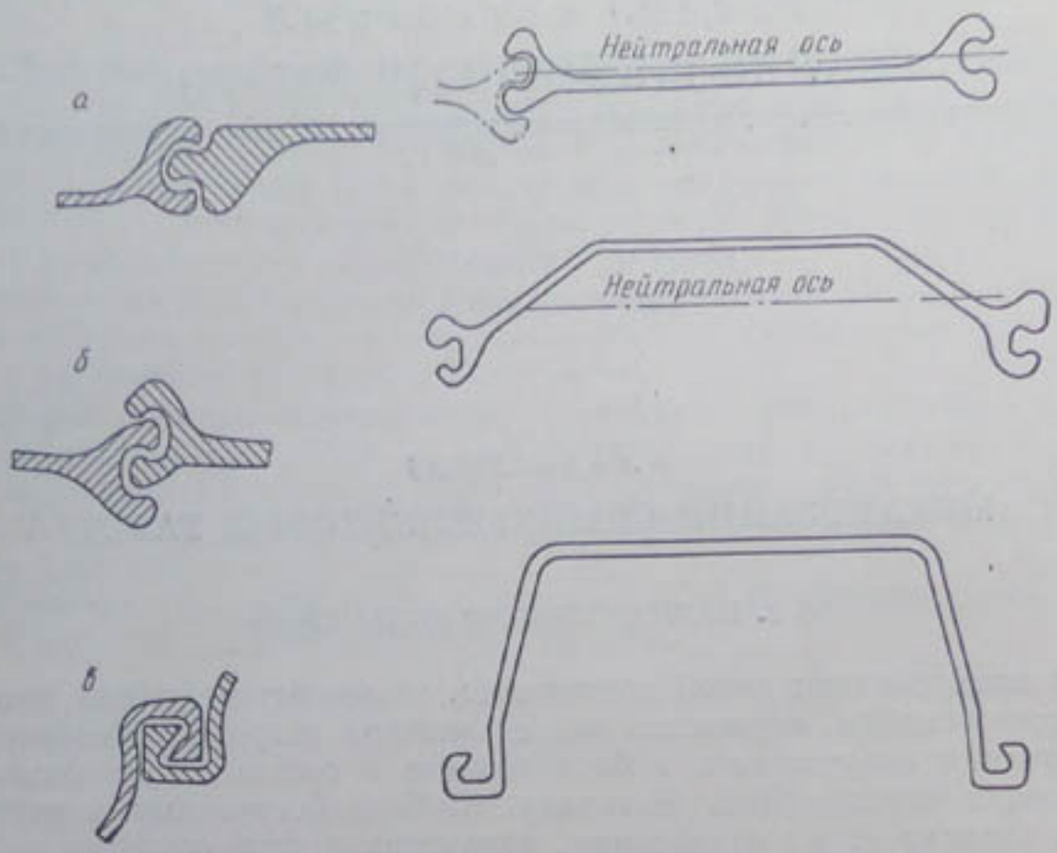


Рис. 387. Типы замкового соединения и профиля стального шпунта:
а—плоский ШП-1; б—корытный ШК-1; в—типа Ларсена Л-3, Л-4, Л-5.

§ 2. СПОСОБЫ ПОГРУЖЕНИЯ СВАЙ

Погружение в грунт свай осуществляется в основном следующими тремя способами:

1) передачей сваям через их оголовья механических, периодически повторяющихся ударов от свайных молотов;

2) сообщением сваям вертикальных вибрационных колебаний;

3) подмывом грунта струей воды под напором, вследствие чего свая погружается в грунт под действием собственного веса; подмыв, как вспомогательная операция, практикуется также при забивке свай и при погружении вибрацией.

Свайные молоты можно разделить на три основных типа: молоты простого действия (механические и паровоздушные), паровоздушные молоты двойного действия и дизель-молоты.

Каждый свайный молот состоит из ударной части, производящей удары по свае и имеющей направляющие для возвратно-поступательного движения; неподвижной части (станины), объединяющей все узлы молота; управляющего устройства для чередования рабочих и холостых ходов; наголовника для непосредственного восприятия ударов и равномерной передачи их забиваемой свае.

Управляющее устройство существенно влияет на интенсивность погружения и в совершенных конструкциях молотов может быть автоматическим—при отсутствии ручного переключения в течение всего рабочего цикла молота, полуавтоматическим—при ручном переключении после удара и автоматическим—в конце холостого хода.

Механические молоты простого действия применяются в комплекте с копрами и приводными лебедками. Копер служит для направления удара молота, а лебедка—для подъема.

Простые молоты имеют небольшую частоту ударов (3—4 в минуту), малопроизводительны и поэтому применяются при небольших объемах свайных работ, когда использование более совершенного и производительного оборудования оказывается экономически невыгодным.

§ 3. ПАРОВОЗДУШНЫЕ МОЛОТЫ ПРОСТОГО ДЕЙСТВИЯ

Паровоздушными молотами простого (одиночного) действия называются агрегаты, в которых внешний источник энергии—сжатый воздух или пар—используется только для подъема ударной части (холостой ход), падающей под действием собственного веса (рабочий ход). Управление молота этого типа может быть ручным, автоматическим и полуавтоматическим.

Встречаются следующие разновидности паровоздушных молотов простого действия: 1) молоты с ударным цилиндром *4* и неподвижным сплошным поршневым штоком *2*, расположенным ниже поршня *3* (рис. 388, *а*), наиболее просты и, вместе с тем, наименее совершенны из молотов одиночного действия;

2) молоты с ударным цилиндром *4* и неподвижным полым штоком *2*, расположенным выше поршня *3* и подающим пар или сжатый воздух в цилиндр *4* (рис. 388, б), делают по 30—40 ударов в минуту. К достоинствам молота с ударным цилиндром относятся полуавтоматическое парораспределение и небольшой вес неподвижных частей (мертвый вес), составляющий около 30% от общего веса молота;

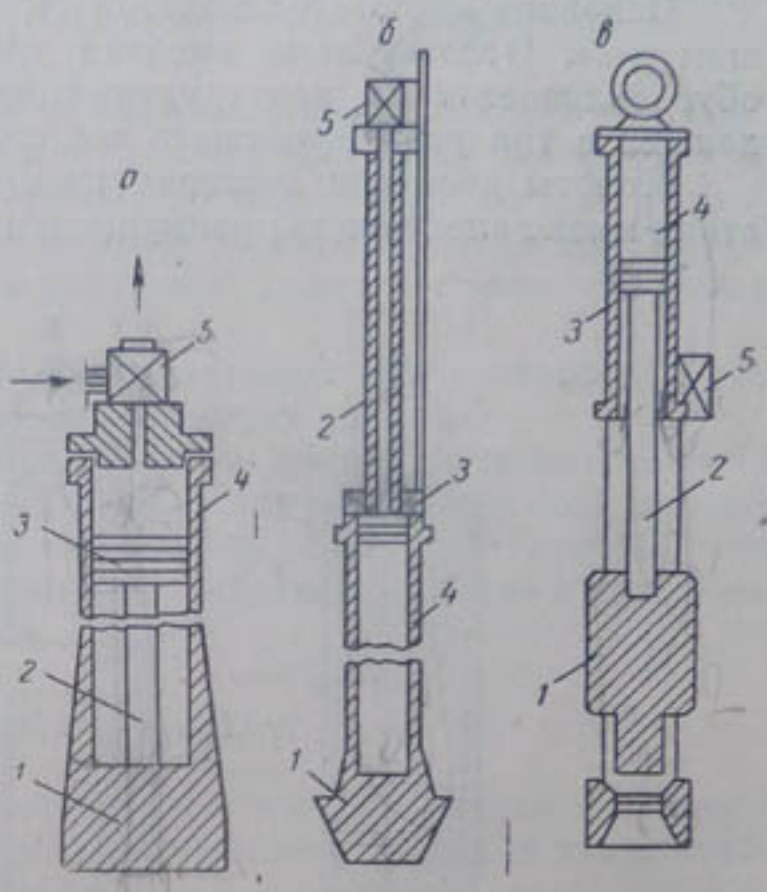


Рис. 388. Принципиальные схемы паровоздушных молотов простого действия:
а—с ударным цилиндром и нижним штоком; *б*—с ударным цилиндром и верхним штоком; *в*—с неподвижным цилиндром: *1*—ударник; *2*—шток; *3*—поршень; *4*—цилиндр; *5*—парораспределительное устройство.

3) молоты с неподвижным паровым цилиндром *4*, ударная часть которых *1* соединяется со штоком поршня (рис. 388, *в*), делают по 70—80 ударов в минуту; высота подъема ударной части равна примерно 1 *м*. Молоты этой конструкции имеют автоматическое парораспределение.

§ 4. ПАРОВОЗДУШНЫЕ МОЛОТЫ ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ

Молоты этой группы представляют собой агрегаты, в которых внешний источник энергии—пар или сжатый воздух—используется не только для подъема ударной части, но и для дополнительного воздействия на нее при падении под действием силы тяжести. В конструкциях молотов двойного действия удалось, не уменьшая энергии удара, сократить длину рабочего хода и тем самым значительно увеличить число ударов, которое стало возможным довести до 120—500 в минуту для легких моделей и 80—90 для тяжелых моделей. Молоты двойного действия относятся к категории весьма эффективных механизмов при погружении свай большого веса в грунты тяжелой проходимости.

В паровоздушных молотах двойного действия (рис. 389) все основные узлы конструктивно объединены в одно целое. Глухой корпус (станина) *1* молота состоит из паровоздушного цилиндра *2* с верхней и нижней крышками *3*, связанными между собой четырьмя стяжными болтами. Болты снизу оканчиваются массивными головками, которые служат направляющими для наковальни *4* и крепления приспособлений (наголовников) при установке молота на оголовье сваи. Ударная часть *5* выполняется в виде штока *6* с поршнем *7* (рис. 389, *а*) и ударником, либо в виде поршня *7* (рис. 389, б), по обе стороны заканчивающегося массивными штоками, скользящими по направляющим ударной части.

На наружной части цилиндра устанавливается парораспределительный механизм, попеременно впускающий пар или сжатый воздух в подпоршневую и надпоршневую части цилиндра. Рабочее давление пара или сжатого воздуха молотов двойного действия средних и тяжелых типо-моделей находится в пределах от 6 до 8 *атм*.

Основной недостаток молотов двойного действия заключается в их большом весе. Относительно высокая удельная металлоемкость этих молотов обусловливается их конструктивными особенностями. Обычно вес молота должен в три раза превышать вес его ударной части.

Молоты двойного действия по сравнению с молотами одиночного действия имеют следующие преимущества: а) большая энергия и частота ударов,

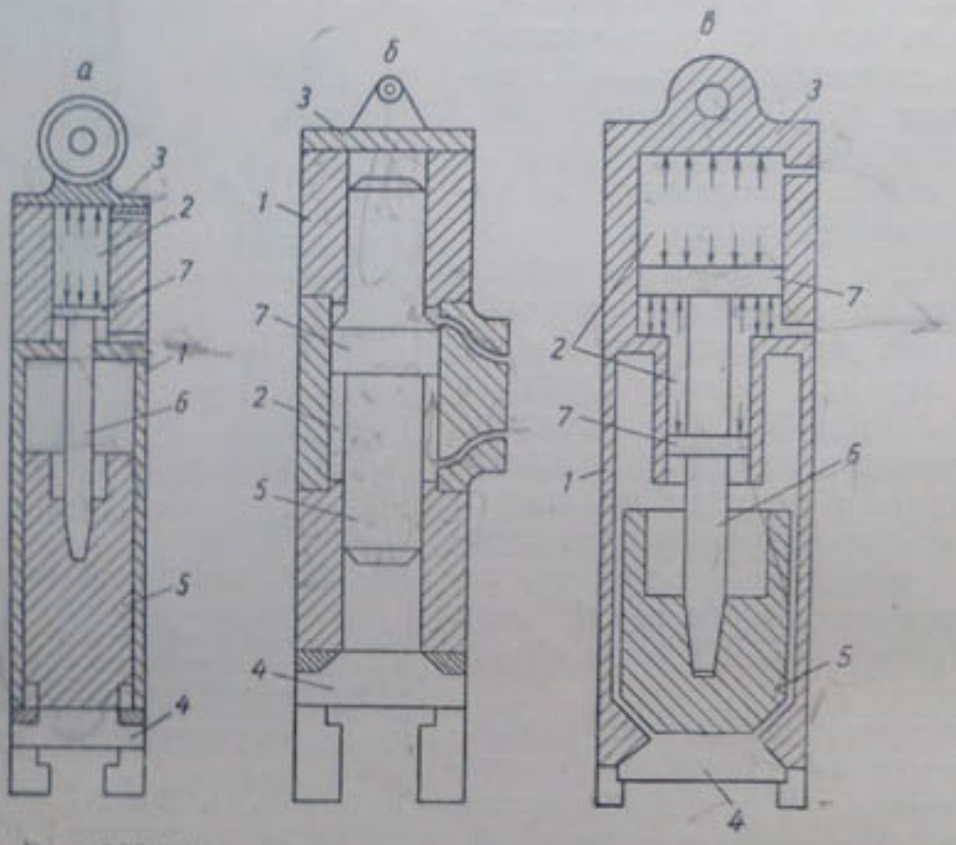


Рис. 389. Паровоздушные молоты двойного действия:
а—с односторонним штоком; *б*—с двусторонним штоком; *в*—дифференциального действия: *1*—корпус; *2*—цилиндр; *3*—крышки; *4*—наковальня; *5*—ударная часть; *6*—шток; *7*—поршень.

понижающая сопротивление трения грунта и обеспечивающая сравнительно непрерывное движение сваи при ее погружении; б) возможность забивки свай с наклоном (под углом) с земли, подмостей, понтонов и судов; в) приспособляемость к работе в условиях стесненных участков, отсутствие копров, а также возможность забивки свай под водой; г) возможность использования молотов для извлечения свай; д) простота управления и эксплуатации; в) высокая портативность и транспортабельность.

Паровоздушные молоты двойного действия широко применялись при забивке тяжелых длинномерных металлических шпунтовых свай на строительстве наших крупных гидроузлов.

Молоты дифференциального действия представляют собой разновидность паровоздушных молотов двойного действия, но с лучшим соотношением веса молота к энергии его удара (рис. 389, *в*).

Корпус *1* молота, разъемной конструкции, состоит из двух полукруглых корытообразных половинок, в одной из которых смонтированы паровой цилиндр *2*, ударная часть *5* и парораспределительное устройство. Вторая половина корпуса представляет собой крышку и может быть демонтирована без нарушения правильного взаимодействия деталей молота, что создает большие эксплуатационные удобства. С внешней стороны корпус снабжен направляющими пазами для удержания молота в стрелах копра.

Внутри цилиндра ступенчатой формы на общем штоке расположены два поршня разных диаметров. Снизу цилиндровый блок открыт, а роль днища выполняет малый поршень. Пар или сжатый воздух через пораспределительное устройство непрерывно в течение рабочего и холостого хода подается в полость, заключенную между поршнями. Верхняя часть цилиндра над большим поршнем поочередно соединяется с атмосферой и паровоздухопроводом, для подъема и движения вниз бойка, который укреплен на нижней части штока.

В конце холостого хода пар из золотниковой камеры поступает в пространство над большим поршнем. Одновременно постоянно поступающий пар в межпоршневое пространство действует снизу с тем же давлением. Вследствие меньшей площади нижнего поршня и действия силы веса бойка со штоком и поршнями ударная часть ускоренно движется вниз, совершая рабочий ход.

Вес ударной части молотов дифференциального действия составляет от 4 до 9 m, а частота ударов от 100 до 220 в минуту.

К эксплуатационным достоинствам молотов дифференциального действия относятся более экономичное потребление пара, расходуемого только при рабочем ходе, а также расположение цилиндра внутри корпуса, что обеспечивает меньшие теплопотери и меньшую конденсацию пара при работе молота в зимних условиях.

§ 5. ДИЗЕЛЬНЫЕ МОЛОТЫ

Дизельные молоты представляют собой агрегаты, в которых конструктивно объединены в одно целое двигатель внутреннего сгорания и свайный молот. Они относятся к молотам простого (одиночного) действия.

Основные преимущества дизельных молотов состоят в независимости их работы от постороннего источника энергии, в сравнительно низких эксплуатационных затратах и высокой производительности при погружении легких и средних свай.

Дизельные молоты работают на тяжелом топливе с самовоспламенением горючей смеси в результате высокой степени сжатия. Они экономичны в эксплуатации, просты по конструкции и в обслуживании. Промышленность выпускает три модификации дизельных молотов: штанговые с падающим цилиндром (рис. 390, *а*), штоковые с падающим цилиндром (рис. 390, *б*) и трубчатые с падающим поршнем (рис. 390, *в*).

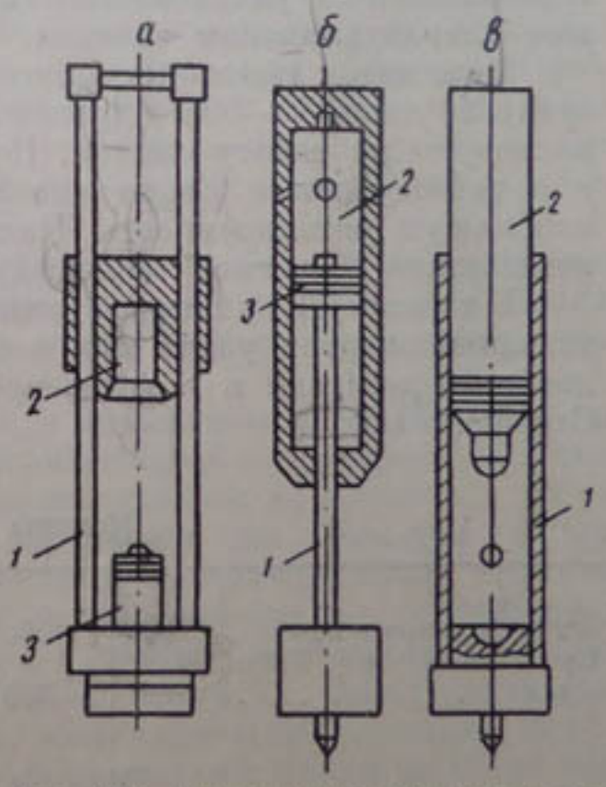


Рис. 390. Принципиальная схема дизельных молотов различных конструкций:

а—штанговый с падающим цилиндром: *1*—штанга; *2*—цилиндр; *3*—поршень. *б*—штоковый с падающим цилиндром: *1*—шток; *2*—цилиндр; *3*—поршень. *в*—трубчатый с падающим цилиндром: *1*—цилиндр; *2*—поршень.

Для запуска молота ударная его часть сбрасывается с крюка, укрепленного вверху молота. В результате сгорания рабочей смеси ударная часть молота подбрасывается вверх, после чего под действием собственного веса падает вниз, производя удар и сжимая горючую смесь для очередного взрыва, после чего цикл повторяется.

В штанговых и штоковых дизельных молотах ударной частью является подвижной цилиндр. Высота подъема ударной части регулируется количеством подаваемого топлива и находится в пределах от 1 до 2 *м*.

Особенность работы штокового дизельного молота состоит в наличии неподвижного штока с поршнем, ниже которого при холостом ходе образуется воздушный буфер. Последний обеспечивает движущемуся вверх цилиндру быстрое падение скорости и дополнительное воздействие на него при движении вниз за счет увеличения скорости и, следовательно, кинетической энергии удара. Возрастает при этом и частота ударов, достигая 80 в минуту.

Трубчатый дизельный молот имеет цилиндр *1*, который при работе молота остается неподвижным, ударной же частью служит тяжелый подвижный поршень *2*. Трубчатые молоты при ударной части до 1,25 *т* (общий вес до 3 *т*) дают до 50 ударов в минуту с подъемом поршня-ударника на высоту до 2 *м*.

§ 6. СРАВНЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Энергия удара и производительность молотов простого действия меньше, чем у молотов двойного действия.

Номинальная энергия удара паровоздушных молотов двойного действия находится в пределах от 300 до 900 *кгм*—для легких моделей, от 1000 до 3500—для средних и от 4000 *кгм* и выше—для тяжелых моделей.

Американские молоты этого типа, выпускаемые фирмой Мак-Кернан-Терри, обладают самой высокой энергией удара—7600 *кгм*.

Увеличение энергии удара молотов двойного действия сверх 2600 *кгм* связано с резким повышением удельной металлоемкости.

Наибольший вес ударной части (10 000 *кг*) имеют молоты простого действия германской фирмы Менк Гамброк.

Большинство дизельных молотов производит 50—60 ударов в минуту. Наибольший вес ударной части (2500 *кг*) имеют дизельные молоты, выпускаемые Стерлитамакским заводом.

Недостаток дизельных молотов состоит в том, что они передают забиваемой свае лишь 40—50% кинетической энергии удара, а остальную энергию расходуют на работу сжатия. Поэтому дизельные молоты при равном весе с паровоздушными имеют значительно меньшую эффективную мощность и бóльшую металлоемкость. Наиболее эффективными по энергии ударного воздействия являются паровоздушные молоты двойного действия.

В таблице 52 приведены данные о предельных весах свай для различных значений энергии удара или веса ударной части паровоздушных молотов двойного действия и молотов простого действия (по рекомендации ВНИИ-Стройдормаш).

Таблица 52

Молоты двойного действия

Энергия удара в *кгм* . .	140	350	560	1 120	2 000	3 550	5 000	7 500
Предельный вес сваи в *кг*	150	250	750	1 600	2 050	3 700	6 000	8 050

Молоты простого действия

Вес ударной части в *кг*	2 000	3 000	4 500	6 000	7 500	9 000	—	—
Предельный вес сваи в *кг*	2 050	3 000	5 000	8 050	10 200	12 750	—	—

Для погружения металлических шпунтовых свай ВНИИОСП (Всесоюзный научно-исследовательский институт оснований и подъемных сооружений) рекомендует в зависимости от профилей шпунтовых свай и грунтовых условий использовать модели паровоздушных молотов двойного действия и вибраторов, указанные в таблице 53.

Таблица 53

Грунт	Профиль и глубина погружения шпунтин в грунт							
	ШП-1		ШК-1		Л-4		Л-5	
	10 м	20 м	10 м	20 м	10 м	20 м	10 м	20 м
Плотный	СССМ-501	СССМ-708	СССМ-708	С-231	С-231	ВР-28	С-231	ВР-28
Средней плотности	СССМ-501	СССМ-708	СССМ-501	СССМ-708	СССМ-708	С-231	СССМ-708	С-231
Слабый	ВПП-21	СССМ-501	ВПП-21	СССМ-501	СССМ-501	СССМ-708	СССМ-501	СССМ-708

По ГОСТ 7888—58 типо-размеры молотов определяются основной их характеристикой, которой принято считать:

для молотов простого действия—вес ударной части в *кг*: 1250, 2000, 3000, 4500, 6000, 7500 и 9000;

для молотов паровоздушных двойного действия—энергия удара в *кг*: 140, 350, 560, 1100, 2000, 3500, 5000;

для молотов дизельных—вес ударной части в *кг*: 100, 150, 300, 500, 600, 1250, 1300, 2500, 3500.

§ 7. СВАЙНЫЕ ВИБРОПОГРУЖАТЕЛИ

Боковое сопротивление грунта погружению, представляющее собой силы внешнего трения грунта по боковой поверхности сваи, значительно уменьшается при вертикальных незатухающих колебаниях погружаемой сваи. Свайные молоты имеют относительно небольшую частоту ударов, вследствие чего свободные колебания погружаемой сваи полностью затухают к моменту начала последующего удара; поэтому они не оказывают существенного влияния на боковое сопротивление и применяются при больших лобовых сопротивлениях.

Способ вибропогружения свай и шпунтов, разработанный советскими учеными Д. Д. Барканом, О. А. Савиновым, А. Я. Лускиным, С. А. Цаплиным и В. П. Татарниковым, за последние годы нашел широкое распространение в строительном производстве.

Сущность этого способа заключается в сообщении периодических вынужденных вертикальных колебаний, передаваемых от вибромашин свае под действием знакопеременной плавно изменяющейся во времени и по величине возмущающей силы; последняя образуется при сложении центробежных сил от вращения валов вибромашин с эксцентриковыми грузами.

Вибропогружатели (рис. 391) сравнительно просты по устройству и состоят из следующих элементов: корпуса (коробки) *1*, в котором размещены несколько пар валов с эксцентриками-дебалансами *2*. Электродвигатель переменного тока *3* через привод *4* в виде цилиндрических шестерен редуктора или (что более надежно) цепной передачи связан с одним из валов корпуса; этот вал синхронно передает вращение с одинаковой скоростью в противоположных направлениях другим валам посредством насаженных на них шестерен. Корпус вибратора жестко связан с электродвигателем (рис. 391, *а*), либо крепится к специальной грузовой плите на пружинах подрессоренной пригрузки *5* (рис. 391, *б*), подобранных так, чтобы вибрации не передавались двигателю. В последнем случае вместо непосредственного привода от двигателя к валу вводятся промежуточные звенья *6* в передачи. Жесткое крепление вибропогружателя к свае достигается с помощью наголовника *7*, обычно самозаклинивающейся конструкции.

В рабочем положении вибраторы в зависимости от конструкции и местных строительных условий подвешиваются к крюку крана на подвеске *8*,

а при оборудовании крана вертикальной стрелой снабжаются скользящими роликами для направленного движения вибраторов с погружаемой сваей.

Влияние вибрации на погружение свай в значительной степени зависит от свойства грунта, глубины погружения, поперечного сечения свай и основных параметров колебаний. В песчаных грунтах, в которых достигается

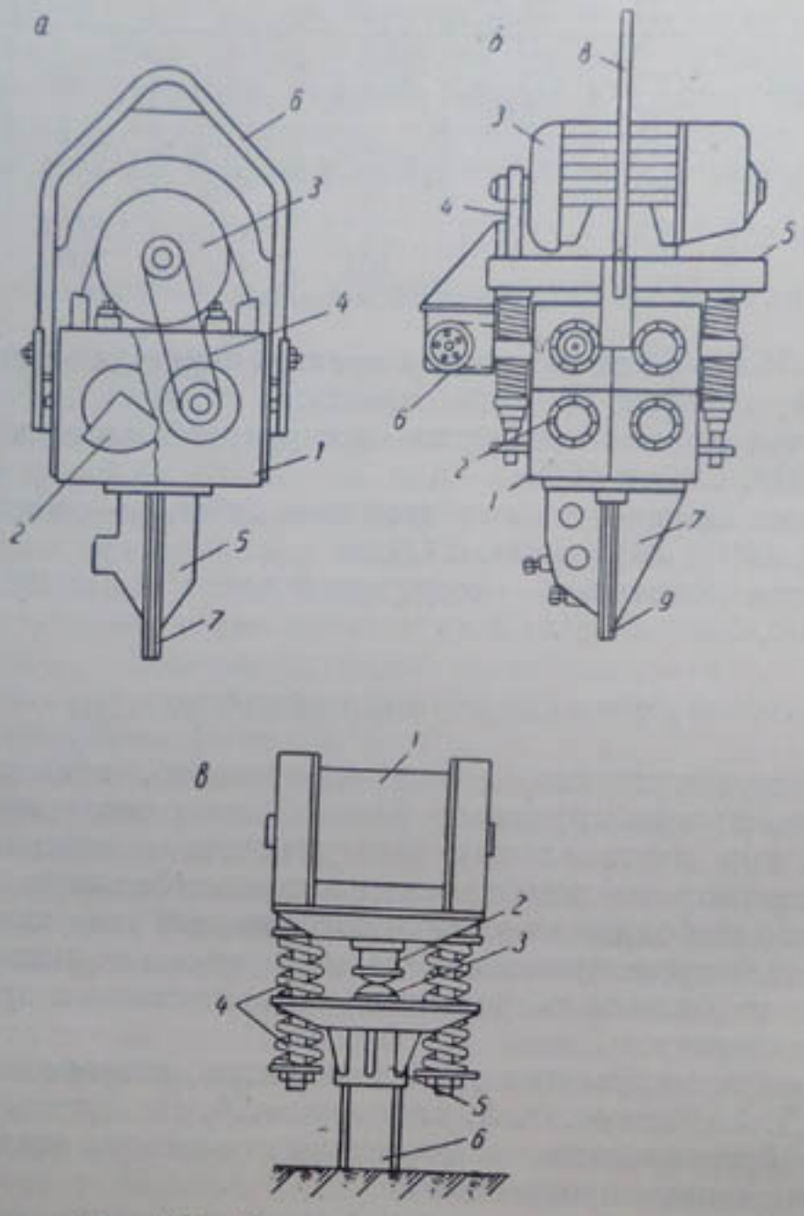


Рис. 391. Схема вибропогружателей:

а—вибратор (БТ-5) без подрессоренной пригрузки: *1*—корпус; *2*—эксцентрики; *3*—электродвигатель; *4*—привод; *5*—наголовник; *6*—подвеска; *7*—шпунтовая свая. *б*—вибратор (ВПП-2) с подрессоренной пригрузкой: *1*—корпус; *2*—эксцентрики; *3*—электродвигатель; *4*—привод; *5*—подрессоренная пригрузка; *6*—промежутная передача; *7*—наголовник; *8*—подвеска; *9*—шпунтовая свая. *в*—вибромолот ВМЦ-3: *1*—вибродвигатель; *2*—боек; *3*—наковальня; *4*—пружины; *5*—наголовник; *6*—свая.

наибольший эффект вибропогружения, боковое сопротивление по поверхности свай уменьшается с увеличением ускорения колебаний, весовой влажности ниже 12—15% и диаметра зерен песка. При ускорении колебаний свыше $(1{,}5 \div 2)g$ (g—ускорение силы тяжести) коэффициент внутреннего трения средне- и крупнозернистого песка уменьшается пропорционально диаметру зерен.

Скорость вибрационного погружения доходит до 8—10 *м/сек* и зависит от веса элементов, участвующих в вибрациях, однако ограниченного величиной амплитуды колебаний. Глубина вибропогружения свай может быть доведена до 15 *м*.

Применение безынерционной подрессоренной пригрузки в вибраторах конструкции С. А. Савинова и А. Я. Лускина позволяет увеличить вес

вибратора практически при постоянных значениях момента эксцентриков, числа оборотов и мощности двигателя, определяющих амплитуду и ускорение вертикальных колебаний.

Ограниченное применение вибраторов в условиях погружения свай в связных грунтах объясняется небольшим влиянием вынужденных вертикальных колебаний на преодоление лобовых сопротивлений. В этих условиях целесообразно применять низкочастотные вибраторы конструкции В. П. Татарникова или погружать сваи вибрированием с одновременным подмывом, а иногда и с воздействием на грунт сжатого воздуха, как это имело место при устройстве скважин водоотлива на строительстве Сталинградского и Каховского гидроузлов.

Виброметод, по сравнению с ударным методом погружения в грунт шпунтин, имеет ряд технических преимуществ. Вибраторы не требуют паровых котлов или компрессоров, кранов большой грузоподъемности или копров, являются относительно легкими механизмами, не деформируют шпунт при погружении, а при извлечении значительно уменьшают усилие на выдергивание и способствуют сохранности инвентарного шпунта.

Виброметод может эффективно применяться при извлечении металлического шпунта временных сооружений в тех случаях, когда погружение его при возведении такого сооружения производилось механизмами вибрационного действия.

Весьма эффективна новая конструкция сваепогружателя, сочетающего в одном агрегате механизмы ударного и вибрационного действия. Такая конструкция, получившая название вибромолота, предложена С. А. Цаплиным.

Из приведенной на рисунке 391,*в* схемы вибромолота видно, что он состоит из вибродвигателя *1*, снабженного бойком *2* и соединенного с наковальней *3* посредством пружин *4*. Наголовник *5* имеет наковальню, воспринимающую периодические удары бойка, передаваемые свае *6*, одновременно с вынужденными колебаниями от вибродвигателя.

Преимуществами вибромолота перед вибропогружателями является меньший вес агрегата и возможность погружения в связные грунты с меньшим расходом электроэнергии.

Машины и приспособления для извлечения шпунтовых свай. Для извлечения шпунтовых свай могут быть использованы: мощные краны-сваевыдергиватели, молоты двойного действия, вибраторы, различные приспособления. Возможно также применение гидравлического и пневмогидравлического способов.

Извлечение с помощью кранов возможно при небольших усилиях, потребных для выдергивания, и применяется в редких случаях.

Сваевыдергиватель представляет собой машину пневматического действия, синхронно работающую с краном. Подвешенный за пружину к тяговому крюку крана, сваевыдергиватель включается в работу в первый момент выдергивания. Как только свая придет в движение, она выдергивается усилием одного крана, оборудованного фрикционными лебедками. При этом сваевыдергиватель остается лишь в роли промежуточного звена между краном и сваей.

Локомотивные краны грузоподъемностью 15—18 *т* со сваевыдергивателем развивают выдергивающую силу, эквивалентную 70—80 *т*.

При использовании паровоздушного молота двойного действия для извлечения свай они подвешиваются к крану в положении, обратном нормальному, и снабжаются специальным тросом или скобой для восприятия ударного воздействия. При этом двухходовой золотник молота обычно заменяется одноходовым, подающим пар только под поршень (для удара вверх).

Применение вибраторов для извлечения свай основано на уменьшении под действием вибраций бокового трения грунта по поверхности сваи и на уменьшении в связи с этим усилия, необходимого для ее извлечения.

Пневмогидравлический способ извлечения свай заключается в уменьшении бокового трения грунта по поверхности сваи при воздействии на грунт струей воды и сжатого воздуха под большим напором (6—8 *атм*) с одновременным приложением сваеизвлекающего усилия от крана.

§ 8. СВАЙНЫЕ КОПРЫ И КРАНЫ

Свайные копры предназначены для подвески и установки свай с сваепогружателем, придания им в процессе погружения в грунт положения, соответствующего проектному, и для перестановок сваебойного агрегата к месту очередного погружения.

Копер состоит из башни, смонтированной на платформе, установленной обычно на четырех колесах для передвижения по рельсовому пути; помимо сваепогружателя (молота и вибратора), он оснащается лебедками и приводом.

Копры подразделяются на: а) механические (паровые, электрические и дизельные) и ручные; б) пневматические, электрические и дизельные; в) простые и универсальные.

Универсальные копры в отличие от простых сложны по конструкции, обладают самоходностью, возможностью поворота платформы на 360°, наклона башни и перемещения ее вперед или назад. Применение универсальных копров рентабельно при больших объемах работ. Полезная высота их от 8 до 28 *м*, общий вес от 10 до 86 *т*; они предназначены для погружения средних и тяжелых свай весом от 3 до 12 *т*. В зарубежной практике наибольшая высота универсальных копров достигает 50 *м* (фирма Пажо, Франция).

Дизельные копры работают в комплекте с дизельными молотами, вес ударной части которых составляет от 300 до 2500 *кг*, обеспечивающими погружение свай и шпунтов весом от 0,5 до 3—4 *т*. На дизельные копры могут навешиваться паровоздушные молоты, если суммарный вес молота и забиваемой сваи не превышает грузоподъемности копра. Дизельные копры германской фирмы Менк Гамброк, Дельмаг имеют наименьший вес конструкции и выполнены из труб. Дизельные копры, изготовляемые в СССР, имеют полезную высоту от 7,5 до 12 *м* при общем весе от 2 до 3,5—7,5 *т*. Полезная высота копров фирмы Дельмаг не превышает 18 *м*, так как дальнейшее ее увеличение резко повышает вес копра, лишая его важнейшего преимущества—легкости.

Широкое применение при забивке свай молотами двойного действия и дизельными молотами получили стреловые краны на базе различного типа экскаваторов. При этом нередко во время погружения шпунтовых свай молот, снабженный специальным наголовником для закрепления на свае, непосредственно подвешивается к грузовому крюку крана без направляющих стрел.

Ввиду большой маневренности кранов наиболее целесообразно использовать их на стесненных участках погружения короткомерных шпунтин и добивке длинномерных шпунтин, предварительно погруженных на возможную глубину вибраторами.

Основные параметры копра — высота и грузоподъемность — устанавливаются в соответствии с наибольшими размерами и весом молота и погружаемых свай, наиболее эффективного в данных условиях погружения.

Государственным Комитетом стандартов разработаны новые стандарты на копры различных конструкций.

На копры простые паровые (КПП) и копры паровые универсальные (КПУ) с полной высотой от 18 до 35 *м*, а также копры дизельные простые высотой от 14 до 25,5 *м* и копры дизельные универсальные высотой от 18 до 22,5 *м* установлен ГОСТ 7881—56.

§ 9. ПОГРУЖЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ШПУНТОВЫХ СВАЙ ПАРОВОЗДУШНЫМИ МОЛОТАМИ ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ

Работы по ударному погружению стальных шпунтовых свай начинаются с подготовки основного и вспомогательного оборудования, приспособлений и материалов, а также устройства направляющих и подкопровых путей.

Для подготовки основного оборудования монтируют копер (обычно сборно-разборной конструкции), оснащают его и устанавливают на подкопровые рельсовые пути. При работе крановым копром на базе экскаваторов последние оборудуются специальной подвесной направляющей стрелой, входящей в состав сменного оборудования экскаваторов. Если сваи забиваются с помощью кранов, то последние оборудуются стрелой и грузоподъемным крюком для подвешивания к нему молота, снабженного специальным наголовником для связи со шпунтиной.

Подготовка паровоздушного молота состоит в проверке его исправности, смазке, соединении с паровоздушным шлангом, подъеме и связи со стрелой копра или крана.

Вспомогательное оборудование подготовляется путем установки и проверки исправности силового оборудования, источников электроэнергии, паровых котлов или компрессоров, лебедок, такелажа и пр.

Режим работы котла и компрессора должен находиться в строгом соответствии с технической характеристикой молота, так как уменьшение или увеличение подачи пара или сжатого воздуха резко сказывается на частоте и энергии ударов паровоздушных молотов двойного действия.

Наиболее распространены для копров котлы с площадью нагрева от 7 до 35 $м^2$ с давлением пара до 8 *атм* и удельной производительностью 25 *кг* пара на 1 $м^2$ поверхности нагрева котла. На поднятие пара в таких котлах требуется 30—60 минут, в зависимости от температуры воздуха и качества топлива.

При большом объеме работ и обслуживании нескольких сваебойных агрегатов для питания молотов применяются стационарные компрессоры. Передвижные компрессоры применяются при небольших объемах и разобщенности работ.

Производительность передвижных компрессоров для различных сваебойных агрегатов принимается от 4 до 10 $м^3/мин$ и стационарных от 10 до 40 $м^3/мин$ при рабочем давлении до 8 *атм*.

При подготовке компрессора проверяют его двигатель, всасывающий и нагнетательный клапаны, трубопроводы, шланги и ресивер.

Для свайных работ должны применяться двух- и трехбарабанные лебедки грузоподъемностью от 3 до 10 *т*, снабженные дополнительными кабестанами.

Подготовка шпунтин к ударному погружению включает осмотр шпунтовых замков, устранение мелких дефектов в них (искривлений, заусениц и наплывов на торцах, в замках и др.), транспортировку шпунтин с приобъектного склада непосредственно к месту шпунтовых работ, маркировку, разметку на метры и наварку на оголовье противодеформационных пластин.

Для предохранения шпунтин от возможных остаточных деформаций в процессе их подготовки необходимо: а) погрузку и разгрузку выполнять только грузоподъемными кранами с застроповкой шпунтин в двух точках на расстоянии от торцов примерно $^1/_3$ длины шпунтины, но не более 6—8 *м*, б) при складировании шпунтин укладывать их на лаги из брусьев или шпал в штабели по профилям и длинам с прокладкой между рядами досок толщиной 4—5 *см*; транспортировать шпунтины внутри объекта тракторами или автомобилями с прицепами. Доставляемые на рабочую площадку шпунтины обычно укладываются параллельно оси шпунтового ряда. Для разметки шпунтов на метры наносят через 1 *м* деления и надписывают цифры от ниж-

него конца свай к верхнему. Подготовка направляющих предусматривает выбор их конструкций и установку в положение, обеспечивающее погружение шпунтин в строгом соответствии с проектным.

Конструкция направляющих должна удовлетворять требованиям достаточной жесткости, простоты устройства, легкости монтажа, демонтажа и перестановки в процессе производства работ. Передвижные подвесные направляющие в виде консольной рамы устанавливаются и передвигаются в направлении забивки по ранее погруженной части шпунтовой стенки; направляющие шаблоны переносного типа применяются при погружении шпунтин в сооружения ячеистого типа (рис. 392).

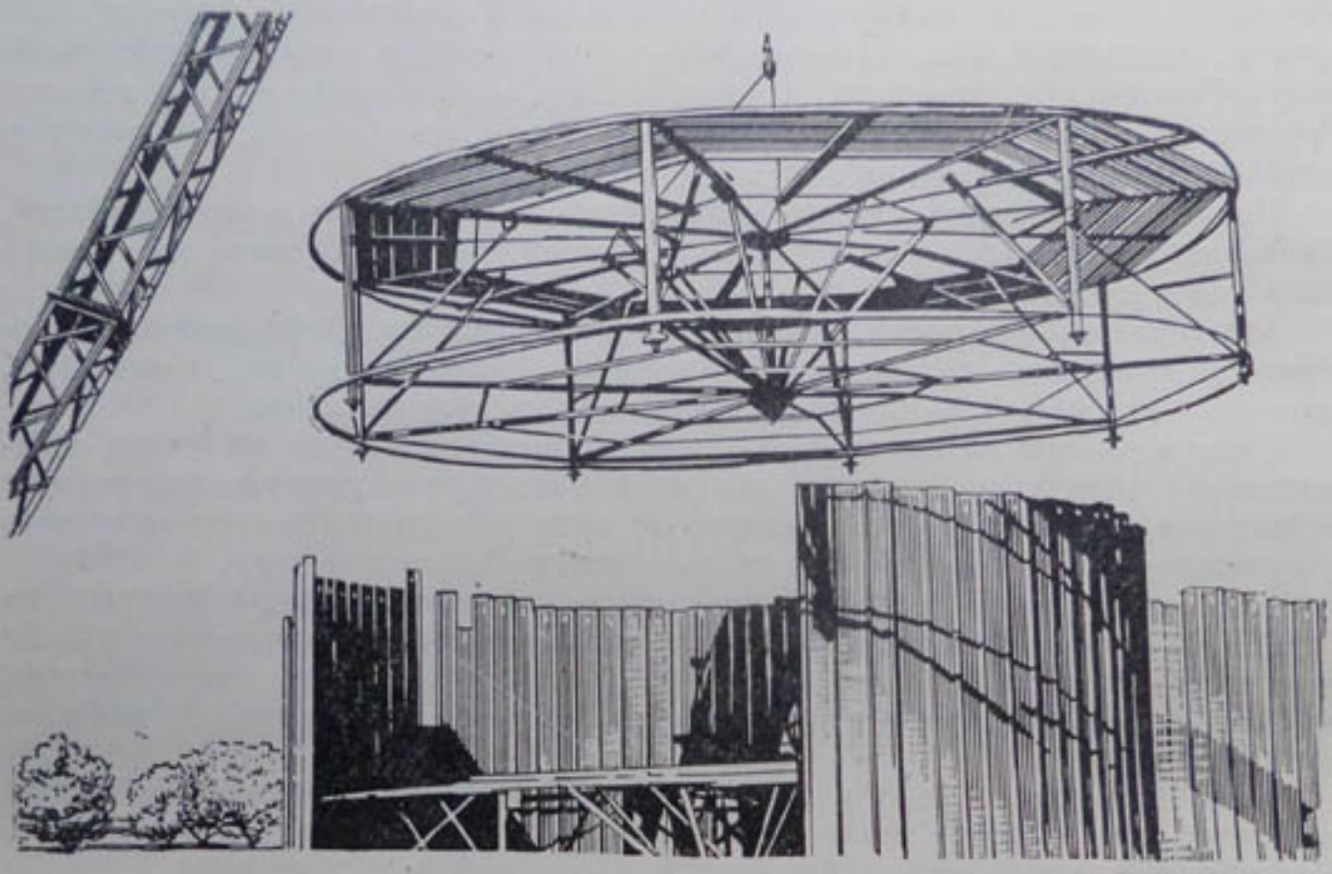


Рис. 392. Шаблон для возведения металлического шпунтового ограждения ячеистой конструкции (строительство Каховской ГЭС); показан момент опускания шаблона внутрь ячейки.

Для того чтобы положение шпунтового ряда типа «стенки» соответствовало проектному, применяются направляющие: нижние—жесткой конструкции, верхние—подвижные, прикрепляемые к стрелам копра с свободным передвижением по мере погружения шпунтовой сваи.

Установка подкрановых рельсовых путей производится на шпальном основании с тщательной его планировкой и балластировкой. Эффективно применение инвентарных сборно-разборных подкопровых путей.

Основные работы по возведению металлических шпунтовых ограждений включают выполнение процесса погружения шпунтин в грунт до проектных отметок, перестановку направляющих и подкопровых путей, контроль за качеством шпунтового ряда, а также предупреждение и устранение отклонений шпунтин от заданного проектного положения.

Погружение шпунтины в грунт производится копром с молотом. Этот процесс включает следующие операции: установку шпунтин и молота с помощью копра, забивку шпунтин молотом, передвижку копра к месту очередного погружения. В грунт забивают либо поочередно каждую шпунтину, либо по 2—3 шпунтины, предварительно соединенные в замках. Добивку шпунтин до проектной глубины целесообразно производить ступенями высотой 2—3 *м*, что обеспечивает высокое качество подземной части шпунтового ряда и в большинстве случаев сокращение общего времени на производство работ.

Большой эффект на добивках дает применение крана при обслуживании им одновременно 2—3 молотов, с использованием в качестве копровой стрелы ранее погруженной шпунтины (соседней с забиваемой). Молот в этом случае оборудуется специальным скользящим приспособлением, благодаря которому удерживается на шпунтине во время забивки пакета, обычно состоящего из двух шпунтин.

В процессе забивки ведется контроль за положением каждой погружаемой шпунтины. Вертикальность шпунтин проверяется по отвесу в двух плоскостях; кроме того, периодически через каждые 20—25 шпунтин производится инструментальная проверка положения стенки.

При забивке шпунтин бывают отклонения от заданного проектного положения: отклонение шпунта от вертикали в плоскости створа ряда («веерность»); отклонение шпунта в плоскости, перпендикулярной створу ряда («завал» стенки под копер или от копра); погружение ниже проектной отметки.

Для предупреждения и устранения этих отклонений принимают необходимые меры.

При наращивании забитых шпунтовых стенок стыки шпунтин располагаются вразбежку, причем высота разбега должна быть не менее 1,5 *м*.

§ 10. ВИБРОПОГРУЖЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ШПУНТОВЫХ СВАЙ

В состав оборудования, необходимого для производства работ по погружению вибрированием стальных шпунтин, входят вибропогружатели, грузоподъемный кран (или копер), электрооборудование, такелаж, легкие переносные лестницы, контрольно-измерительные приборы, отдельные лебедки для оттяжек ряда при образовании в нем вертикальных отклонений, направляющие приспособления и набор инструментов для ухода за механизмами.

Подготовка вибропогружателя к работе заключается в проверке исправности всех узлов, подвеске вибропогружателя на крюк крана и установке эксцентриков в положение, соответствующее оптимальному кинетическому моменту вибрации.

Крюк должен иметь напорное устройство против самопроизвольного снятия стропа.

Для подвески вибратора со шпунтиной, установки их и направления в процессе погружения могут применяться грузоподъемные краны—башенные и на гусеничном ходу, а также железнодорожные и плавучие копры. Наибольшее применение находят грузоподъемные стреловые краны на базе экскаваторов Э-1003, Э-1004, Э-2001, Э-505, Э-23 (фирмы Шкода) и др., соответствующие по грузоподъемности и высоте подъема крюка весу и длине погружаемых шпунтовых свай.

Применение свайных копров для вибропогружения стальных шпунтин оправдывается только при возведении сооружений типа стенок из длинномерных (более 15 *м*) металлических шпунтин при отсутствии на строительной площадке стреловых кранов, имеющих необходимую грузоподъемность и требуемый вылет стрелы.

Грузоподъемность кранов должна превышать двойной вес вибропогружателя с погружаемой сваей, а вылет стрелы и высота подъема крюка—допускать возможность подъема вибропогружателя со шпунтовой сваей и заводу ее в замок ранее погруженной сваи.

Краны должны быть оборудованы фрикционными лебедками, позволяющими производить погружение плавно, на тормозах, с широким диапазоном скоростей в пределах от 0,2 до 10 *м/мин* и обеспечивающими возможность в любой момент времени прекратить вибропогружение.

Подготовка шпунтин к погружению вибраторами аналогична подготовке их при ударном способе погружения. Специфичным при вибропогружении является вырезка газовой резкой крепежных отверстий в оголовьях

металлических шпунтин для жесткого клинового скрепления с вибратором и укладка доставляемых на рабочую площадку шпунтин на специальные козлы для удобства соединения с вибратором.

Укладка шпунтины на козлы выполняется краном без снятия вибратора с крюка (рис. 393), для чего к наголовнику на это время крепится специальный строп. Козловые подставки расставляют, исходя из соображений минимальных передвижек крана, удобного захвата, подъема и переноски свай.

Высота переносных такелажных лестниц должна соответствовать высоте надземной части погружаемого шпунтового ряда.

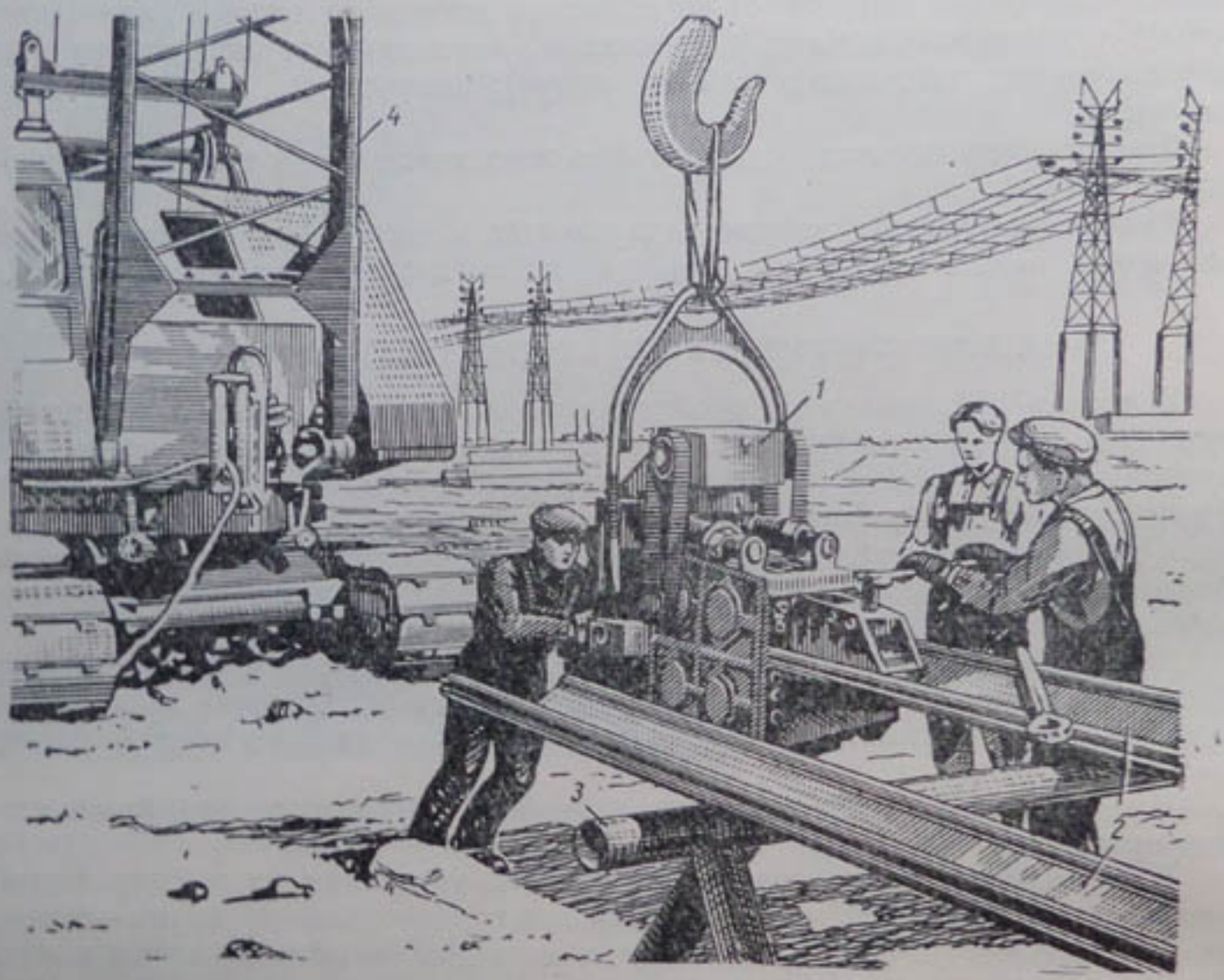


Рис. 393. Заводка вибратора на шпунтины на специальных подставках (козлах): *1*—вибропогружатель; *2*—шпунтовые сваи; *3*—козловая подставка; *4*—кран-экскаватор.

При вибропогружении свай в шпунтовые ограждения типа стенок применяются направляющие приспособления. Конструкции направляющих для вибропогружения и ударного погружения сходны между собой; они должны обладать прочностью, жесткостью, простотой изготовления, монтажа и демонтажа, а также исключать возможность заклинивания шпунтин в процессе их погружения.

Основные работы по вибропогружению металлических шпунтин включают следующие операции: заводку наголовника вибратора на подготовленную шпунтину и жесткое закрепление ее в наголовнике; подъем, перенос шпунтины и установку ее в шпунтовый ряд со спуском до земли через направляющие; вибропогружение до проектной или предельной глубины; открепление наголовника вибратора от погруженной сваи и переноску его к очередной шпунтине.

Заводка наголовника на оголовье шпунтовой сваи производится при подвешенном на крюке крана вибраторе, приведенном в горизонтальное положение. После затяжки крепежных винтов наголовника до отказа про-

изводится мгновенное включение и выключение вибратора и дополнительная подтяжка крепежных винтов с зашплинтовкой их проволокой. Чтобы шпунтина не раскачивалась, к нижнему ее концу подвязывают два отрезка пенькового троса, удерживаемые рабочими во время ее подъема и установки.

Работы по возведению стальных шпунтовых ограждений ячеистой конструкции должны быть организованы так же, как при возведении прямолинейных шпунтовых рядов в аналогичных строительных условиях. Специфическим отличием является применение специальных шаблонов-направляющих.

На рисунке 392 показан момент установки такого шаблона внутрь шпунтовой ячейки на строительстве Каховской ГЭС.

При извлечении шпунтины вибраторами с подрессоренной пригрузкой рекомендуется пользоваться следующими приемами: крановщик создает небольшое натяжение грузового троса крана, растягивая рессорные пружины вибропогружателя, жестко соединенного с извлекаемой шпунтиной. В продолжение 1—1,5 минуты шпунтина подвергается вибрированию и движению вверх под действием сил упругости пружин без увеличения подъемного усилия на грузовой трос крана. После прекращения движения сваи вверх процесс повторяется до тех пор, пока не окажется возможным стремительное извлечение шпунтины подъемным усилием крюка крана.

Являясь механизмами повторно-кратковременного действия, все элементы вибропогружателя испытывают значительные переменные нагрузки, а трущиеся детали быстро изнашиваются. Расчетная долговечность вибратора ВПП-2 составляет 300 часов непосредственной работы; за это время в средних условиях, в несвязных грунтах можно погрузить 3—3,5 тыс. шпунтовых свай, при правильной эксплуатации механизма, уходе за ним и своевременном проведении профилактических ремонтов.

§ 11. КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ СВАЙНО-ШПУНТОВЫХ РАБОТ

При комплексной механизации свайно-шпунтовых работ все основные процессы выполняются комплектом машин, подобранным по принципу технологической комплектности—по основным техническим параметрам. Ведущей машиной комплекта при возведении шпунтовых сооружений является сваебойный агрегат, состоящий из копра (или крана) с молотом или вибратором. Ведущая машина определяет в основном организацию, темп и расстановку комплектующих машин, подобранных так, чтобы обеспечить наивысшую производительность, наименьшую трудоемкость и наинизшую стоимость работ в данных производственных условиях.

Технология производства работ при этом предусматривает выполнение следующего комплекса строительных процессов: проверку замков шпунтин и подготовку их к погружению; погрузку, транспортировку и разгрузку готовых к погружению шпунтин; укладку и перекладку подкопровых путей и направляющих; погружение шпунтин в грунт.

Проверка замков производится способом «протаскивания» шпунтин с помощью лебедок.

Для транспортировки шпунтин на рабочую площадку, в зависимости от состава машин и состояния внутрипостроечных дорог, целесообразно применять тракторы или автомашины с прицепами. Доставленные к месту погружения шпунтины разгружаются автокраном соответствующей грузоподъемности, который, кроме этого, целесообразно использовать на перекладке инвентарных подкопровых путей и направляющих на рабочей площадке.

Процесс погружения шпунтин в грунт является основным в комплексе работ по возведению шпунтовых ограждений и выполняется ведущей машиной комплекта.

В. Е. Чубовым предложен совмещенный график норм и результатов хронометражных наблюдений[1], позволяющий правильно и быстро нормировать процессы ударного и вибрационного погружения в грунты стальных шпунтовых свай.

§ 12. ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА СВАЙНО-ШПУНТОВЫХ РАБОТ

Объем работ по возведению стальных шпунтовых ограждений на строительстве крупных гидроузлов весьма значителен. Например, на Волжской ГЭС имени В. И. Ленина он составил 40 тыс. *м*. Творческая производственная активность рабочих и ИТР на наших стройках была направлена на повышение производительности свайных работ и лучшее использование оборудования. Так, строительство Волжской ГЭС имени Ленина характеризовалось большими объемами погружения на глубину 15—20 *м* тяжелых профилей (П-V и Л-IV) шпунтин в грунты тяжелой и легкой проходимости и применением в основном паровоздушных молотов двойного действия, оснащающих башенные и универсальные краны и краны на базе экскаваторов Э-1003. Новым в технологии производства работ здесь было следующее:

1) предварительный набор шпунтин в ячеистое ограждение с помощью вибраторов с последующей добивкой их двумя-тремя паровоздушными молотами, которые при одновременной их работе обслуживались одним краном на гусеничном ходу;

2) применение инвентарных направляющих и подкопровых путей сборно-разборной конструкции;

3) протаскивание шпунтин в замках с помощью лебедок на специальном стенде шпунтового двора перед их погружением;

4) применение при температурах наружного воздуха ниже 12—15° С переходного бачка на участке гибкого паровоздухопровода для предупреждения попадания конденсата в рабочие органы молота.

Все это определило высокий коэффициент использования парка машин: 0,74—по башенным копрам, 0,72—по универсальным и 0,92—по крановым. Выработка на 1 человеко-день доходила до 2,1 *т* шпунта, а выработка на 1 машино-смену—до 8,38 *т* (по среднегодовым данным).

Вибраторами БТ-5, В-104 и ВПП-2 было погружено лишь 6% общего объема стального шпунта. Это в большинстве случаев объясняется неблагоприятными геологическими условиями для применения вибраторов на этих работах.

На строительстве Сталинградской ГЭС наиболее широко применялся метод вибрационного погружения шпунтовых свай как в грунты легкой, так и тяжелой проходимости. В связи с этим было исключено применение копров на железнодорожном ходу, а использовались краны на базе экскаваторов Э-1003, Э-2001 и Э-23.

Новым в технологии производства шпунтовых работ здесь было:

1) применение вибромолота ВМЦ-3 при забивке длинномерных (16 *м*) шпунтовых свай (Л-V) в грунты тяжелой проходимости;

2) перевозка шпунтин на рабочую площадку с помощью трейлеров;

3) изготовление клиновидных шпунтин (для устранения «веерности» ряда) из двух нормальных, сложенных по форме клина и соединенных вместе сваркой. Обычно такие шпунтины изготавливались путем разрезки нормальной шпунтины и вставки по всей длине металлического листа клиновидной формы, что повышало трудоемкость и не обеспечивало необходимого качества (из-за коробления);

4) применение специальных шахтоподъемников грузоподъемностью

---

[1] В. Е. Чубов. Рационализация шпунтовых работ на строительстве крупных гидроузлов. Оргэнергострой, Куйбышев, 1957.

0,5 *т* вместо такелажных лестниц, что позволило также отказаться от дорогостоящих шаблонов при возведении ячеистых конструкций;

5) отказ от применения нижних направляющих шпунтового ряда при вибрационном погружении шпунтовых свай.

Производительность труда при возведении шпунтовых ограждений с помощью вибраторов составляла в среднем 20—25 шпунтин ШП-1 в смену при погружении в грунты легкой проходимости на 12—14 *м*. Максимальная производительность в этих же условиях достигала 53 шпунтин в смену.

Технология шпунтовых работ на других гидроузлах страны также имела ряд особенностей. На строительстве Каховской ГЭС был эффективно применен способ вибро-гидропневмопогружения металлических шпунтовых свай длиной 16—18 *м* в песчано-гравелистые грунты. В этих условиях наиболее целесообразным оказалось применение низкочастотного вибратора В-104.

На строительстве Камской ГЭС для повышения производительности погружения шпунтин в мелкозернистые пески с прослойками суглинков и гравийно-галечных линз применялся способ предварительного подмыва («разжижения») грунта.

На строительстве Воткинского гидроузла возведение ячеистой конструкции оголовка перемычки основных сооружений осуществлено раздельно для подземной и надземной (наращиваемой) части. Это, а также применение комплекса мероприятий (защита с помощью заглушек нижнего торца замков шпунтин от попадания грунта, смазка перед забивкой шпунтовых замков, наварка на оголовья противодеформационных пластин) позволили сократить сроки и стоимость возведения конструкции и повысить почти вдвое интенсивность ударного погружения шпунтин ШК-1 и ШП-1 на глубину 12—13 *м* в песчано-гравелистые грунты. Перевозка длинномерных (20 *м*) шпунтин на этом строительстве от приобъектного склада до рабочей площадки на расстояние до 5 *км* осуществлялась на автомашинах МАЗ-501 с автокраном.

Строительство Новосибирской ГЭС при производстве шпунтовых работ на стесненных участках использовало специальную направляющую раму, оснащающую кран, для забивки и добивки шпунтовых пакетов ШК-1 на глубину до 7 *м*.

На Ангаргэсстрое использован способ предварительного сплачивания короткомерных шпунтин из 3—4 шт. с последующей установкой и забивкой их пакетами.

§ 13. ПОГРУЖЕНИЕ СВАЙ С ПОДМЫВОМ ГРУНТА

Погружение свай с подмывом грунта (гидравлическое погружение) при определенных условиях является весьма эффективным способом возведения свайных оснований и шпунтовых ограждающих конструкций. Эти условия состоят в наличии грунтов, поддающихся размыву, отсутствии значительных морозов и влияния ударов и вибрации на деформацию грунтов вблизи расположенных сооружений, в неприменении тяжелых копров большой высоты.

Применяются следующие виды погружения свай с подмывом. При непосредственном подмыве погружение свай происходит под воздействием собственного веса, в результате подмыва грунта под нижним концом сваи и его влияния на снижение бокового трения.

Параллельный подмыв состоит в одновременном воздействии подмыва и работы свайного молота или вибропогружателя.

Предварительный подмыв заключается в том, что размыв грунта производится на некоторую глубину, а затем ведется погружение свай механизмами ударного или вибрационного действия.

При подмыве с дополнительным дутьем одновременно с подмывом грунта в зону размыва подается сжатый воздух. Вода подводится трубами

диаметром 30—60 *мм* под большим напором и выбрасывается через сопло вниз, в стороны, а иногда и вверх.

Расход воды и величина напора, необходимые для размыва грунта, завешивания его твердых частиц и выноса их по боковым поверхностям сваи, зависят от физико-механических свойств грунта, сечения, веса сваи, а также глубины ее погружения. Эта зависимость определяется обычно опытным погружением 2—3 свай, после чего производится окончательный выбор оборудования.

Для предварительного выбора величины напора и расхода воды можно пользоваться данными таблицы 54.

Таблица 54

Грунты и типы свай	Необходимый напор на выходе трубы в атм	Расход воды на сваю в *л/мин*
Легкие (ил, песок рыхлый, однородные среднезернистые пески), сваи деревянные и железобетонные длиной 6—8 *м*	4—6	300—400
Средние (пески, смешавшиеся с примесью гравия, с прослойками глины, ила), сваи деревянные, железобетонные сечением 40×40 *см* и металлические длиной до 12 *м*	6—12	600—1000
Тяжелые (сложные напластования песка с включением камня), сваи деревянные, железобетонные и металлические длиной до 18 *м*	12—20	1000—3000

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ

Глава XXXII

ПРОЕКТ И СМЕТА СТРОИТЕЛЬСТВА[1]

§ 1. СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Капитальное строительство, выполняемое за счет средств государственного бюджета (полностью или частично), должно осуществляться по проектам и сметам, разработанным в соответствии с действующими инструкциями[2].

Экономичность проектных решений и доброкачественность сметных документов являются решающими факторами эффективности капитальных затрат в строительстве.

Проектирование гидромелиоративных систем и сооружений производится в две стадии: 1) проектное задание, 2) рабочие чертежи. В отдельных случаях, при проектировании водозаборных узлов на реках, водохранилищах, крупных насосных станций в сложных природных условиях, допускается проектирование по трем стадиям: 1) проектное задание, 2) технический проект, 3) рабочие чертежи. При двухстадийном проектировании допускается составление технических проектов на отдельные сооружения в сложных природных условиях или при сложности и новизне технических решений по ним.

Проектное задание имеет своей задачей установить техническую возможность и экономическую целесообразность намечаемого строительства. В состав проектного задания входят:

а) сводная записка с краткими сведениями по всем частям проектного задания, основными техническими решениями и технико-экономическими показателями;

б) общая часть, в которой дается: характеристика природных условий района строительства, описание предприятий других отраслей народного хозяйства, интересы которых затрагиваются намечаемыми мероприятиями, и содержание проектируемых мероприятий с учетом нужд указанных отраслей народного хозяйства; генеральный план мелиоративной системы; характеристики вариантов основных технических решений и обоснование принятых вариантов, а также водохозяйственные и мелиоративные расчеты, обосновывающие технические решения, принятые в проекте;

в) экономическая часть, в которой приводится оценка экономической целесообразности и эффективности мелиоративного строительства и сельскохозяйственного производства на мелиорируемых землях, связь проектируемой мелиоративной системы с районами потребления и промышленными предприятиями по переработке сельскохозяйственных продуктов и с дру-

---

[1] Глава XXXII написана инж. М. И. Ярушиным.

[2] Инструкция по составлению проектов и смет по мелиоративному строительству, И 110-56, в редакции, измененной Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства по приказу № 362 от 20 сентября 1958 г.

гими объектами народного хозяйства (гидроэнергетикой, водным транспортом, рыбным хозяйством), а также технико-экономические показатели строящейся мелиоративной системы, сельскохозяйственного освоения и производства на мелиорированных землях;

г) организация сельского хозяйства и мелиорация территории с освещением вопросов о направлении сельского хозяйства, организации сельскохозяйственного производства, размера и размещения мелиорируемых земель, очередности их сельскохозяйственного освоения, трудового баланса, переселения и дозаселения, землеустройства, организации новых РТС, ММС, хозяйственных центров;

д) техническая часть с перечнем примененных типовых и повторно-используемых проектов и чертежами основных каналов, индивидуальных сооружений и различных устройств запроектированной мелиоративной системы, с характеристикой и обоснованием принятых решений;

е) эксплуатация мелиоративной системы со схемой организации эксплуатационной службы, потребностью в кадрах, жилье и культурно-бытовых зданиях, дорогах, средствах связи, оборудовании, механизмах и транспортных средствах;

ж) организация строительства с генеральным планом строительства, перечнем и объемом основных строительных и монтажных работ, календарным планом строительства, данными о необходимых ресурсах для выполнения работ и организации производственной базы строительства, с указанием состава, мощности и размещения производственных предприятий, жилья и культурно-бытовых зданий для строителей;

з) сметная стоимость строительства, разработанная в составе и по формам действующей инструкции.

Технический проект разрабатывается на основе утвержденного проектного задания и состоит из тех же частей, что и проектное задание, за исключением раздела «Организация сельского хозяйства и мелиорация территории». В техническом проекте уточняются все материалы и данные, разработанные в проектном задании.

Рабочие чертежи разрабатываются при двухстадийном проектировании на основе утвержденного проектного задания и при трехстадийном—на основе утвержденного технического проекта.

По рабочим чертежам выполняются строительные и монтажные работы, включая установку оборудования и устройство коммуникаций.

В рабочих чертежах производятся: отдельные уточнения генерального плана строительства, размещение каналов, зданий и сооружений, увязка строительных конструкций с оборудованием, всеми видами коммуникаций, устройствами по санитарной технике, энергетике и т. п.; разработка внутрихозяйственной и межхозяйственной сети, не разработанной в проектном задании, с выполнением необходимых изысканий; разработка оснований и фундаментов сооружений в увязке с уточненными данными геологических и гидрогеологических изысканий и исследований; детальная разработка конструктивных элементов зданий и сооружений, необходимая для их осуществления и монтажа; уточнение плана сельскохозяйственного освоения, проекта организации территории и перехода на новые севообороты на всей мелиорируемой площади; планировка орошаемых земель с выполнением необходимых изысканий; составление ведомости сооружений с указанием конструктивных размеров, рабочих отметок и привязок к полевым трассам каналов; детальная разработка мероприятий по охране труда и технике безопасности в период строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений.

В состав рабочих чертежей гидротехнических и других сооружений и производственных зданий должны входить: чертежи продольных и поперечных профилей регулируемых рек, каналов, оградительных валов и др., составленных по материалам полевой трассировки; чертежи строительных планов, разрезов, фасадов зданий и сооружений и деталировочные

чертежи со спецификациями; чертежи основных сооружений и зданий с нанесением окончательного расположения оборудования, коммуникаций, а также конструкций и устройств, связанных с оборудованием, со спецификацией оборудования и устройств; чертежи на специальные виды работ, сетей энергоснабжения, сигнализации, радиофикации, телефонизации и др. со спецификацией на оборудование и материалы и другие чертежи, связанные с возведением зданий, сооружений и различных устройств.

На общих рабочих чертежах или на отдельных листах в составе рабочих чертежей указываются подсчитанные по этим чертежам объемы работ по номенклатуре сметных норм, а также спецификации изделий заводского изготовления.

При разработке рабочих чертежей не допускается вносить изменения, вызывающие снижение мощности, капитальности строительства и ухудшение эксплуатационных качеств мелиоративных систем и сооружений, утвержденных в проектном задании.

Рабочие чертежи передаются на строительство вместе со сметами.

Проект в одной стадии. При сметной стоимости строительства до 5 млн. руб., осуществляемого в несложных природных условиях, с простым техническим решением: участков мелиоративной системы площадью до 1500 *га*, отдельных каналов и гидротехнических сооружений с расходом до 25 $м^3/сек$, прудов и водоемов при высоте плотин до 8 *м*, допускается составление проектов в одну стадию по сокращенному объему проектно-сметных материалов, в составе: а) краткой записки, содержащей характеристику природных условий, определение расчетных расходов воды, пояснение к чертежам, объем основных работ, ведомости потребных ресурсов и сметные документы; б) плана с нанесением мелиоративной сети и сооружений, продольных и поперечных профилей постоянных каналов, составленных по данным полевой трассировки и с подсчетом объема работ; типовых проектов сооружений с привязкой к участкам строительства; д) планов и разрезов индивидуальных сооружений.

Типовые проекты разрабатываются для строительства массовых или многократно повторяющихся сооружений и зданий и имеют целью обеспечить строительство готовыми экономичными проектами высокого качества. Типовые проекты, утвержденные в надлежащем порядке, являются обязательными для применения в строительстве, при этом запрещается их переработка, за исключением внесения в рабочие чертежи изменений, связанных с привязкой сооружений и зданий к участкам строительства.

Типовой проект здания или сооружения состоит из полного комплекта рабочих чертежей с пояснительной запиской и сметой.

§ 2. ЗНАЧЕНИЕ СМЕТНЫХ ДОКУМЕНТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Смета в строительстве является единственным документом, определяющим его стоимость; утвержденная в установленном порядке она является как бы государственной отпускной ценой на строительную продукцию—каналы, сооружения, здания и другие устройства.

Помимо своего прямого назначения—определять денежные затраты по строительству, сметы являются также основой для контроля за правильным расходованием средств в строительстве, укрепления хозяйственного расчета и финансовой дисциплины, а также определения плановой себестоимости строительно-монтажных работ.

Сметы используются для оперативного и производственного планирования, для статистического и оперативно-технического учета и отчетности в выполнении государственных планов по капитальному строительству.

В соответствии с действующими правилами финансирования капитального строительства сметы используются в качестве основного документа для производства расчетов за выполненные работы.

Наконец, сметы являются документом для оценки хозяйственной деятельности стройки, т. е. оценки результатов снижения или удорожания выполненных строительно-монтажных работ и других затрат и расходов, относящихся к строительству. Этот анализ и оценка возможны только при наличии доброкачественных сметных документов.

Сметная стоимость строительства зданий, сооружений и других устройств зависит, прежде всего, от объема работ, подлежащих выполнению, и от стоимости их единицы.

Объем работ по строительству каналов, зданий, сооружений устанавливается проектным решением; стоимость единицы работ (продукции) определяется на основе сметных норм затрат труда и средств производства (строительных конструкций, деталей, материалов и средств механизации на единицу объема работ—продукции) и сметной стоимости затрат на заработную плату рабочих и каждую единицу средств производства.

Сметная стоимость единицы объема работ строящегося канала или сооружения при принятом проектном решении может быть различной, в зависимости от условий организации строительства (условий заготовки и доставки строительных конструкций, деталей и материалов, способов механизации работ и др.). Поэтому в проектных решениях необходимо предусматривать наиболее рациональные конструктивные решения сооружений, обеспечивающие, при заданной прочности, наименьший объем работ, применение наиболее дешевых конструкций, материалов. В проектах организации строительства следует учитывать совершенные индустриальные формы организации и производства работ, обеспечивающие наименьшую стоимость единицы объема работ.

Определение сметной стоимости капитального строительства производится в ценах, введенных с января 1956 г.

§ 3. СТРУКТУРА СМЕТНЫХ ЗАТРАТ

Полная сметная стоимость строительства слагается из стоимости: а) строительных и монтажных работ, б) затрат на приобретение установочного и строительного оборудования, в) прочих расходов, связанных с осуществлением строительства.

Сметная стоимость строительных и монтажных работ состоит из прямых затрат, накладных расходов и плановых накоплений.

К прямым затратам относятся:

а) основная заработная плата рабочих, выполняющих основные строительно-монтажные работы. К прямым затратам не относится заработная плата рабочих, занятых на подсобно-вспомогательных производствах, не выделенных на промышленный баланс, на погрузке, разгрузке и доставке материалов, на управлении строительными машинами, а также занятых на текущем и капитальном ремонтах. Эти затраты учитываются соответственно в стоимости продукции подсобных предприятий или стоимости услуг вспомогательных производств, в калькуляции сметной стоимости готовых изделий, полуфабрикатов, материалов, машино-смен строительных машин и механизмов, в накладных расходах и амортизационных отчислениях;

б) стоимость строительных и монтажных материалов, полуфабрикатов, готовых конструкций и деталей; в эту стоимость входит их приобретение и доставка до участкового (приобъектного) склада включительно, т. е. с учетом затрат на погрузку и выгрузку, транспортировку, тару и упаковку, укладку и штабелировку и др., а также оплату наценок снабженческим и сбытовым организациям и затрат на заготовительно-складские расходы. Затраты на заготовительно-складские расходы установлены единые для всех министерств и ведомств; они определены в процентах от стоимости материалов, оборудования и конструкций;

в) стоимость машино-смен работы строительных и монтажных машин, механизмов и оборудования, участвующих в выполнении строительно-монтажных работ; эта стоимость составляется из заработной платы рабочих, занятых на управлении машинами, механизмами и оборудованием, амортизационных отчислений от стоимости машин, механизмов и оборудования, доставки их от машинопрокатной базы до строительной площадки, монтажа и демонтажа, а также стоимости обтирочных и смазочных материалов, энергетических ресурсов, текущего ремонта и др.

К накладным расходам относятся затраты строительства, связанные с содержанием административно-хозяйственного персонала, комплектованием, использованием и обслуживанием рабочих, а также другие затраты, связанные с обслуживанием строительного и монтажного производства.

За счет накладных расходов выполняются также работы по устройству временных сооружений и приспособлений для обслуживания строительства (конторы прорабов и мастеров, кладовые, душевые, кубовые, настилы, стремянки, проходные и сторожевые будки, сараи и навесы, мелкие такелажные и монтажные приспособления и др.).

На работы строительные, а также болотно-подготовительные, выполняемые механизированным способом, и работы по лесоочистке зон затопления установлены дифференцированные нормы накладных расходов, в зависимости от особенностей строительства.

По монтажным, подземным, горно-капитальным, а также по болотно-подготовительным и лесоочистительным работам в зонах затопления, выполняемых не механизированным способом, нормы установлены единые для всех строек.

Совнархозы, министерства и ведомства-заказчики совместно с подрядными организациями могут утверждать, по согласованию с финансирующим банком, повышенные нормы накладных расходов на работы, осуществляемые в пустынных и полупустынных районах с тяжелыми климатическими условиями, в районах освоения целинных земель, на Крайнем Севере и в отдаленных местностях, приравненных к районам Крайнего Севера.

Накладные расходы начисляются по каждой смете и сметно-финансовому расчету в целом на сумму прямых затрат, но с выделением строительных работ и монтажа стальных конструкций.

Если сметные документы на отдельные здания и сооружения в целом или на виды работ составлены с использованием смет к типовым или повторно-используемым проектам, сметная стоимость может определяться без выделения накладных расходов.

Плановые накопления установлены единые для всех министерств и ведомств—в размере 2,5% от стоимости прямых затрат и накладных расходов. Они начисляются так же, как и накладные расходы, по каждой смете и сметно-финансовому расчету в целом.

§ 4. ПЕРВИЧНЫЕ СМЕТНЫЕ ДОКУМЕНТЫ И НОРМАТИВЫ ДЛЯ ИХ СОСТАВЛЕНИЯ

Первичные сметные документы определяют сметную стоимость единицы какого-либо вида работ, конструктивного элемента или сооружения и здания в целом. На основе первичных сметных документов и количества работ составляют сметы и сметно-финансовые расчеты на отдельные сооружения, здания, устройства, виды работ и затраты.

К первичным сметным документам относятся укрупненные сметные нормативы на отдельные виды работ или конструктивные элементы, или сооружения и здания в целом, единичные сметные расценки на работы и калькуляции стоимости различных ресурсов, необходимых для выполнения строительных и монтажных работ.

В настоящее время определение сметной стоимости строительства производится на основе применения усредненных методов производства работ, с использованием укрупненных сметных нормативов, в которых предусмотрен средний уровень механизации массовых строительных работ и прогрессивные методы организации и производства строительно-монтажных работ.

Применение укрупненных сметных нормативов значительно упрощает составление сметных документов и вместе с тем обеспечивает необходимую точность исчисления сметной стоимости строительства.

Поэтому в сметах и сметно-финансовых расчетах непосредственно используются укрупненные сметные нормативы, а калькуляции применяются в качестве вспомогательных документов для исчисления укрупненных сметных нормативов и различного рода поправок при привязке к местным условиям укрупненных сметных нормативов единичных расценок и смет к типовым и повторно-используемым проектам.

Укрупненные сметные нормативы применяются в виде укрупненных показателей сметной стоимости строительства (УПСС), укрупненных сметных норм затрат труда, материалов и машино-смен строительных машин и механизмов на отдельные здания и сооружения (УСН) или на укрупненные конструктивные элементы (УКН), а также в виде прейскурантных цен на строительство объектов жилищного и культурно-бытового назначения.

Нормы УСН применяются для определения сметной стоимости зданий или сооружений в том случае, когда предусмотренные в УСН конструктивные решения совпадают с рабочими чертежами строящегося здания или сооружения или имеют от них незначительные отклонения. В противном случае применяются нормы УКН.

Прейскурантные цены на строительство объектов массового жилищного и культурно-бытового назначения разработаны по отдельным городам и районам и содержат отпускные цены за 1 $м^2$ жилой площади, 1 $м^2$ полезной площади (для культурно-бытовых зданий), а также «процентовку» по укрупненным конструктивным элементам.

К единичным расценкам относятся сборники единых районных единичных расценок на все виды строительных работ (ЕРЕР), составленные на основе средних порайонных цен на материалы, строительные детали и изделия и машино-смены строительных машин и механизмов и в соответствии со сметными нормами СН и П. Эти расценки составлены для двух групп строек; к первой группе относятся стройки министерств и ведомств, ведущих капитальное строительство в больших объемах, ко второй—остальные стройки, в том числе сельскохозяйственные и, как правило, мелиоративные; в каждой группе расценки даны для каждого из 20 районов, на которые разделена территория СССР.

Так как ЕРЕР составлены усредненно, то при их применении для конкретных строек делают привязку ЕРЕР к местным условиям, т. е. вносят в них необходимые поправки на стоимость трудовых затрат, местных материалов, транспортных расходов и др. Эти поправки вносятся непосредственно в расценки или учитываются в сметах и сметно-финансовых расчетах или в общей стоимости строительства.

При отсутствии необходимых расценок в сборниках ЕРЕР применяют ведомственные сборники районных единичных расценок (ВРЕР), разработанных Министерством сельского хозяйства СССР для определения сметной стоимости земляных, буро-взрывных и культуртехнических работ, а также строительства гидротехнических сооружений.

Кроме того, для определения сметной стоимости строительства применяют каталоги республиканских, областных (краевых) и городских сборников единичных расценок на строительные работы, районные расценки других ведомств на работы и конструкции, отсутствующие в ЕРЕР, и республиканские единичные расценки на работы, выполняемые РТС и специализированными станциями для колхозов.

Калькуляции составляются для определения сметной стоимости энергетических ресурсов, строительных материалов, транспортных расходов по доставке грузов на строительную площадку и других ресурсов.

Первичные сметные документы составляются на основе действующих нормативных справочников, к которым относятся: а) единый тарифно-квалификационный справочник профессий рабочих, занятых в строительстве, утвержденный для применения с 1 января 1956 г.; б) ценники порайонных сметных цен (приложение к сборникам ЕРЕР) на материалы, детали, изделия, машино-смены строительных машин и оборудования и на перевозку грузов для строительства; в) тарифы на гужевые, морские и речные перевозки; г) справочник цен на строительные материалы и оборудование, действующий с 1 июля 1955 г.; д) ведомственные сметные нормы на водохозяйственное строительство в составе земляных, буро-взрывных, культуртехнических работ и работ по возведению гидротехнических сооружений; е) сметные нормы СН и П; ж) нормы для определения сметной стоимости машино-смен для применения с 1 января 1956 г.; з) ценники на монтаж оборудования; и) единые нормы и расценки на строительные и монтажные работы (ЕН и Р), применяемые с 1 января 1956 г.; к) сборник 35-В «Нормы и расценки на земляные и культуртехнические работы в системе Министерства сельского хозяйства СССР», утвержденные в 1956 г., а также сборники расценок, изданные в 1936—1954 гг., с применением к ним поправочных коэффициентов, учитывающих расчетные условия оплаты труда, введенные с 1 января 1956 г., оптовые цены на материалы и тарифы на электроэнергию и грузовые перевозки, введенные с 1 июля 1955 г.

§ 5. СОСТАВ СМЕТНЫХ ДОКУМЕНТОВ

Состав сметных документов к проектному заданию. 1) При двухстадийном проектировании в состав сметных документов, определяющих сметную стоимость строительства гидромелиоративных систем и сооружений на стадии проектного задания, входят: а) сводка затрат, определяющая общую сметную стоимость строительства; б) сводные сметно-финансовые расчеты, определяющие раздельно сметную стоимость объектов для мелиоративного и жилищно-гражданского строительства и строительства постоянной производственной базы; в) сметно-финансовые расчеты на сооружения, здания и устройства, определяющие стоимость отдельных объектов основного производственного назначения (объектные сметно-финансовые расчеты) или комплекса объектов подсобновспомогательного или обслуживающего назначения; г) сметно-финансовые расчеты на отдельные работы и затраты, производимые при строительстве соответствующего объекта; д) каталог примененных укрупненных показателей сметной стоимости строительства; е) сводный сметно-финансовый расчет на сельскохозяйственное освоение мелиорируемых земель, определяющий стоимость освоения по объекту в целом.

Укрупненные показатели сметной стоимости строительства (УПСС) применяются на 1 $м^3$ земляных работ, 1 $м^3$ бетона и железобетона в сооружении, 1 $м^2$ каменного крепления, 1 $м^3$ деревянных конструкций и сооружений, 1 $т$ металлоконструкций в деле, 1 $квт$ установленной мощности насосных станций, 1 $м^3$ зданий, 1 $м^2$ зданий, 1 $т$ оборудования и т. п.

УПСС применяются для определения сметной стоимости основных объектов, работ и затрат, при этом производится привязка их к местным условиям. Расчеты по привязке должны прикладываться к сметным документам.

Если отсутствуют утвержденные УПСС, сметная стоимость строительства может быть определена по аналогичным показателям, полученным из сметных документов ранее утвержденных проектов, с применением, в необходимых случаях, поправочных коэффициентов на местные условия.

Сметная стоимость основных работ и затрат может быть определена с использованием смет к типовым проектам, по укрупненным сметным нормам, а также по прейскурантным ценам на строительство жилищного и культурно-бытового назначения в районах, где изданы эти прейскуранты.

Единые (ЕРЕР) и ведомственные (ВРЕР) районные единичные расценки и производственные единичные расценки ЕН и Р и 35-В должны применяться при определении сметной стоимости объектов строительства только в случае отсутствия перечисленных выше укрупненных сметных нормативов, при этом применение норм ЕН и Р и 35-В, при определении сметного количества машино-смен строительных машин и оборудования, производится с учетом переходных коэффициентов от производственных норм к сметным.

Однако и в этом случае в сметных расчетах должны использоваться не единые и ведомственные расценки, а составленные на их основе укрупненные показатели сметной стоимости строительства.

Сметная стоимость приобретения и монтажа технологического, транспортного, подъемного, энергетического и другого оборудования определяется с использованием смет к типовым и повторно-используемым экономичным проектам, а также по укрупненным показателям на группы однородного оборудования и лишь при отсутствии этих данных—по отпускным ценам промышленности, с учетом транспортных и заготовительно-складских расходов и стоимости монтажных работ.

В таком же порядке определяются сметные затраты на приобретение производственного инвентаря, приспособлений, инструмента и др., в количествах, необходимых для пуска предприятия или отдельных объектов строительства.

Сметно-финансовые расчеты на отдельные работы и затраты составляются на основании укрупненных показателей сметной стоимости и объемов работ, указанных на чертежах. При необходимости на каждый из видов работ, осуществляемых на данном объекте (канал, сооружение, здание), составляется отдельный сметно-финансовый расчет или калькуляция с использованием укрупненных показателей.

Объектные сметно-финансовые расчеты на каналы, сооружения и различные устройства составляются на основе сметно-финансовых расчетов на отдельные работы и затраты, производимые при строительстве соответствующего объекта.

Сводные сметно-финансовые расчеты составляются на основе сметно-финансовых расчетов на отдельные объекты, работы и затраты. Они составляются раздельно: раздел А — на строительство объектов производственного назначения; раздел Б — на строительство поселков, жилых домов, школ, детских учреждений, объектов здравоохранения и других объектов культурно-бытового и коммунального назначения постоянного типа; раздел В — на строительство постоянной производственной базы для строительно-монтажной организации.

Сводный сметно-финансовый расчет для мелиоративного строительства содержит затраты: а) на строительство объектов основного и подсобно-вспомогательного назначения для службы эксплуатации (за исключением объектов жилищно-гражданского строительства постоянного типа); б) на строительство временных зданий и сооружений, необходимых для осуществления строительно-монтажных работ при возведении объектов основного и подсобно-вспомогательного назначения, в том числе временных зданий жилищного, культурно-бытового и коммунального назначения, подлежащих разборке после окончания строительства.

Каждый сводный сметно-финансовый расчет, включаемый в сводку затрат одной строкой, составляется по номенклатуре, установленной Инструкцией по составлению проектов и смет по мелиоративному строительству.

Номенклатура основного сводного сметно-финансового расчета для мелиоративного строительства приводится ниже:

Часть I

Глава 1. Подготовительные работы и расходы.

Глава 2. Объекты основного производственного назначения.

Глава 3. Объекты подсобного производственного и обслуживающего назначения.

Глава 4. Объекты энергетического хозяйства.

Глава 5. Объекты транспортного хозяйства и связи.

Глава 6. Особые работы (не связанные с основной деятельностью строящегося объекта).

Глава 7. Прочие работы и затраты.

Глава 8. Временные (разбираемые) здания и сооружения, необходимые для осуществления строительно-монтажных работ.

Часть II

Глава 9. Содержание дирекции строящегося предприятия, включая технический надзор.

Глава 10. Расходы на подготовку эксплуатационных кадров.

В конце каждого сводного сметно-финансового расчета указывается в установленном размере сумма на непредвиденные и неучтенные расходы и затраты.

За итогом каждого сводного сметно-финансового расчета указывается возвратная сумма, включающая:

а) амортизируемую в течение строительства часть стоимости временных зданий и сооружений, необходимых для осуществления строительно-монтажных работ, за вычетом расходов на капитальный ремонт их за время строительства;

б) ликвидную часть стоимости временных зданий и сооружений, за вычетом затрат, связанных с их разборкой;

в) стоимость материалов, полученных в процессе строительства от разборки конструкций, сносимых и переносимых зданий, а также материалов, полученных в порядке попутной добычи (камень, гравий и др.).

Сводкой затрат определяется общая сметная стоимость строительства; она объединяет стоимость строительства, предусмотренную перечисленными выше сводными сметно-финансовыми расчетами.

Каждый сводный сметно-финансовый расчет включается в сводку затрат отдельной строкой.

За итогом стоимости строительства, в конце сводки затрат, отдельной строкой помещается стоимость сельскохозяйственного освоения мелиорируемых земель. В состав этих работ и расходов входят: планировка орошаемых земель, промывка засоленных земель, засыпка старой оросительной сети, сводка и раскорчевка леса, срезка кочек на осушаемой территории, уборка камней, подъем целины на осушаемых землях, расходы по землеустройству, переселению и расселению, строительство жилых, культурно-бытовых и производственных зданий для хозяйств, осваивающих новые земли, устройство внутрихозяйственной дорожной сети, водоснабжение населенных пунктов, полевых станов и ферм, строительство РТС, ММС, устройство внутрихозяйственных полезащитных и других лесонасаждений, оснащение колхозов сельскохозяйственными машинами и орудиями, закладка садов, ягодников, виноградников, строительство парников и др.

Затраты на освоение не включаются в утверждаемую сумму стоимости строительства по сводке затрат.

Каталоги расценок, сметно-финансовые расчеты на объекты, отдельные работы и затраты на приобретение оборудования, его монтаж, сводные сметно-финансовые расчеты и сводки затрат составляют по формам, установленным Инструкцией по составлению проектов и смет по мелиоративному строительству.

2) При трехстадийном проектировании составление сметных документов на стадии проектного задания производится по более укрупненным показателям сметной стоимости, чем при двухстадийном проектировании, имея в виду, что установленная сметная стоимость строительства будет уточнена на второй стадии проектирования—при составлении технического проекта. В качестве укрупненных показателей сметной стоимости принимаются показатели на 1 *га* мелиорируемой площади, на 1 *км* каналов, на 1 $м^3$ запасенной в водохранилище воды, на 1 *км* линий электропередач, на 1 *км* дорог и др.

Стоимость объектов подсобного, вспомогательного и обслуживающего назначения, а также жилищного, культурно-бытового назначения и других подобных затрат можно определять не по укрупненным показателям, а проще—в процентах к общей сумме затрат на объекты основного производственного (мелиоративного) назначения; эти проценты устанавливаются на основе повторно-используемых проектов.

Состав сметных документов к техническому проекту. На стадии технического проекта вместо сметно-финансовых расчетов составляются сметы, за исключением таких объектов, работ и затрат, как вспомогательные объекты, подготовительные и специальные работы (энергетика, связь и др.), затраты на подготовку территории строительства, расходы на содержание дирекции строящегося предприятия, на приобретение строительных машин, средств транспорта и др., по которым составляются сметно-финансовые расчеты.

На стадии технического проекта сводка затрат, сводные сметно-финансовые расчеты, объектные сметы и сметно-финансовые расчеты и сметы на отдельные виды работ составляются по тем же формам, что и для проектного задания при двухстадийном проектировании, однако стоимость затрат определяется более точно, с использованием уточненных объемов работ и единичных расценок.

Перечень первичных сметных документов и расчетов, обосновывающих их применение, аналогичен перечню, представляемому на стадии рабочих чертежей.

Состав сметных документов к рабочим чертежам. При определении сметной стоимости строительства по рабочим чертежам вместо сметно-финансовых расчетов на все работы и затраты составляются сметы. Так как сметы к рабочим чертежам служат документами для расчета за выполненные работы, они наиболее точно определяют затраты на строительство.

Сметы составляются на все объекты строительства, за исключением сооружений и зданий, по которым объемы и методы выполнения строительных и монтажных работ, как правило, в процессе строительства уточняются, например, сооружения по закрытию русел рек при возведении плотин, сооружения по пропуску строительных паводков и др. Не составляются сметы на стадии рабочих чертежей на затраты по приобретению оборудования, инструмента и инвентаря.

Для возможности оформления промежуточных расчетов за выполненные работы смета по рабочим чертежам составляется раздельно по видам строительно-монтажных работ и с подразделением каждой сметы по частям зданий и сооружений или видам устройств. Так, например, смета на строительство земляной плотины должна быть расчленена на работы по подготовке основания, устройству ядра, возведению тела плотины, устройству понура, дренажной призмы, облицовке откосов плотины (по типам облицовки), устройству проезжей части по гребню плотины и др.

В конце смет, составленных на отдельные виды работ и затраты стоимостью более 200 тыс. руб., а по сельскохозяйственному (в том числе мелиоративному) строительству—более 100 тыс. руб., дается общая сводка объемов и стоимости работ по частям сооружений и зданий (разделам сметы) и в целом по смете. Эти стоимости приводятся к единице укрупненного конструктивного элемента или укрупненного ведущего вида работ (1 $м^3$ желе-

зобетона в деле и др.), с указанием удельного веса его в общей стоимости по смете. К каждой смете, составленной по рабочим чертежам, кроме смет к типовым проектам жилых и гражданских зданий, должны прилагаться ведомости потребных ресурсов: расход рабочей силы в человеко-днях, затраты механизмов в машино-часах и материалов в соответствующих измерителях.

Строительные материалы, необходимые для возведения типовых жилых и гражданских зданий, указываются в комплектовочной ведомости.

Для объектов строительства стоимостью менее 200 тыс. руб., а для сельскохозяйственного—менее 100 тыс. руб., ведомость потребных ресурсов может составляться на основе укрупненных норм расхода ресурсов на 1 млн. руб., сметной стоимости аналогичных зданий и сооружений.

Сметная стоимость сооружений и зданий в целом или отдельных конструкций и видов работ определяется по объемам, указанным в рабочих чертежах, и единичным расценкам; составленным по действующим нормативам, с привязкой к местным условиям строительства.

Если единичные расценки, использованные на предыдущей стадии проектирования, отвечают условиям составления смет к рабочим чертежам, то к последним прилагаются только дополнительные расценки, необходимость в которых возникла при составлении рабочих чертежей.

Объектные сметы к рабочим чертежам составляются на основе смет, составленных по ним на отдельные виды работ и затраты, производимые при строительстве соответствующего объекта, с указанием удельного веса стоимости отдельных сооружений или видов работ в общей стоимости строительства объекта по данной смете. Сметы к рабочим чертежам на монтаж оборудования должны составляться по ценникам на основании спецификаций к рабочим чертежам, а также по укрупненным показателям сметной стоимости работ на монтаж отдельных видов оборудования.

Если строительство сооружения или здания осуществляется по типовому проекту, сметная стоимость его определяется по смете к типовому проекту, привязанной к местным условиям, а также с учетом поправок при привязке типового проекта к участку строительства.

Сводка затрат со сводными сметно-финансовыми расчетами к рабочим чертежам, в том случае, когда требуется уточнение общей стоимости строительства, составляется по тем же формам, что и для проектного задания.

К сметным материалам, составленным по рабочим чертежам, кроме смет со сводками и ведомостями потребных ресурсов, прилагаются: каталог единых и ведомственных районных единичных расценок, привязанных к местным условиям строительства, с общим расчетным поправочным коэффициентом, полученным при привязке расценок; дополнительные расценки и сборник дополнительных расценок, если имеется в них необходимость; калькуляции стоимости материалов, энергетических ресурсов, воды и других услуг вспомогательных производств; транспортная схема завоза строительных материалов и другие расчетные документы, обосновывающие сметную стоимость работ.

Сметы, составленные к рабочим чертежам по объекту в целом, должны передаваться вместе с рабочими чертежами строительно-монтажным организациям не позднее чем за 3 месяца до начала работ.

Составление сметных документов к одностадийному проекту. В состав одностадийного проекта входят типовые сооружения, привязанные к участкам строительства, а также продольные и поперечные профили каналов и оградительных валов, составленные по полевым данным; следовательно, по степени детальности и точности определения объемов работ проект в одной стадии аналогичен рабочим чертежам. Учитывая, однако, что проект в одной стадии предусматривает строительство небольшого объема, в несложных природных условиях, сметные документы к такому проекту составляются более упрощенно, чем для рабочих чертежей; сметы на отдельные виды работ и расходы составляются в целом на сооружение, без разделения

по частям или конструктивным элементам и видам устройств; они содержат такие же показатели, как и сметы, составленные к рабочим чертежам, но без приведения показателей по разделам смет; ведомости ресурсов даются на весь объект в целом и только к сметам, составленным по рабочим чертежам типовых проектов. Для смет, составленных по индивидуальным проектам, потребность в ресурсах устанавливается по укрупненным показателям в общей записке к проекту.

В состав сметных документов к проекту в одной стадии входят: сводка затрат, сводные сметно-финансовые расчеты, объектные сметы и сметы на отдельные виды работ и затраты, сводный сметно-финансовый расчет на сельскохозяйственное освоение (в случае, если необходимость затрат на освоение установлена в задании на проектирование), расчеты по применению укрупненных сметных нормативов, а также сборник дополнительных расценок и дополнительные расценки, если возникла необходимость в них при составлении смет.

§ 6. СОГЛАСОВАНИЕ, ЭКСПЕРТИЗА И УТВЕРЖДЕНИЕ ПРОЕКТОВ И СМЕТ[1]

Проектная организация **согласовывает** проектные задания на строительстве гидромелиоративных систем и сооружений: а) с местными районными, областными (краевыми) Советами депутатов трудящихся или Советами Министров союзных республик по вопросам выбора стройплощадок, размещения поселков, запроектированных мероприятий по защите, переносу и переустройству населенных пунктов и промышленных предприятий республиканского и местного подчинения, по компенсации земель колхозам и совхозам и другим землепользователям, расположенным в зонах затопления, подтопления, а также по вопросам восстановления сельскохозяйственного производства; б) с организациями, министерствами и ведомствами, чьи интересы затрагиваются проектируемой мелиоративной системой; в) со строительными организациями, на которые возложено строительство, по вопросам применения в проекте строительных материалов, конструкций и средств механизации строительно-монтажных работ, а также проекта организации строительства и сметных документов.

Экспертиза проектов и смет производится только в одной инстанции, с привлечением специалистов-экспертов, при участии строительной организации.

Утверждение проектов и смет выполняется в порядке, установленном постановлениями Совета Министров СССР.

Рабочие чертежи, поступающие на строительство, передаются к исполнению за подписью главного инженера стройки.

Сметы на строительство отдельных сооружений, зданий и устройств, составленные по рабочим чертежам, утверждаются директорами строящихся предприятий или руководителями организаций-заказчиков.

Глава XXXIII

ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА[1]

§ 1. СОСТАВ ПРОЕКТА ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Проект организации строительства является неотъемлемой частью всего проекта гидромелиоративной системы или сооружения; он составляется ведущей проектной организацией в увязке с перспективным планом развития строительства в соответствующем районе и служит основой для планирования капитальных вложений и сроков строительства, материально-технического снабжения, своевременного проведения подготовительных ра-

[1] Глава XXXIII написана инж. М. И. Ярушиным.

бот, а также решения вопросов, связанных с развитием и организацией производственной базы строительства.

Проект организации строительства должен составляться с учетом следующих требований[1]:

а) соблюдения правил техники безопасности и производственной санитарии;

б) применения наиболее прогрессивных форм управления строительством, предусматривающих укрупнение и специализацию строительных организаций;

в) производства строительно-монтажных работ поточным методом и в течение круглого года, с равномерным использованием материально-технических ресурсов;

г) применения комплексной механизации трудоемких работ;

д) первоочередного выполнения работ по развитию производственной базы строительства, жилищно-коммунального строительства, подъездных путей и дорог, связи и других подготовительных работ, с учетом уменьшения объема временного строительства за счет первоочередной постройки и использования для нужд строительства постоянных зданий и сооружений строящегося предприятия (дороги, связь, жилые и культурно-бытовые здания, склады и т. п.) и использования существующей производственной базы строительства в данном районе;

е) выполнения работ с концентрацией кадров, материально-технических ресурсов на пусковых объектах, с последовательным вводом в действие участков орошаемых или осушаемых земель со всеми сооружениями и подсобно-вспомогательными устройствами, необходимыми для нормальной эксплуатации;

Сроки строительства гидромелиоративных систем и сооружений должны устанавливаться в соответствии с «Нормами продолжительности строительства предприятий, объектов и сооружений» (И 135—56), при этом в проекте организации строительства необходимо учитывать сокращение этих сроков за счет применения сдельно-прогрессивной системы оплаты труда рабочих-строителей и широкого применения высокопроизводительных строительных машин и механизмов. В таблице 55 приведены нормы продолжительности строительства для сельских гидроэлектростанций и объектов водного хозяйства.

В состав проекта организации строительства входят: строительный генеральный план; ситуационный план района строительства; сводный календарный план строительства и календарный план работ, выполняемых в подготовительный период; объемы всех основных строительных, монтажных и специальных работ, а также объемы работ, выполняемых в подготовительный период; потребность в строительных конструкциях, деталях, полуфабрикатах, основных материалах и оборудовании; пояснительная записка.

На строительном генеральном плане указываются условными обозначениями: магистральный канал с ветвями и каналы межхозяйственного назначения; головные сооружения, водохранилища, отстойники, насосные станции и сооружения на магистральном канале; постоянные и временные производственные подсобные и вспомогательные предприятия и хозяйства; крупные механические установки; эксплуатационные и строительные поселки; сооружения, устройства и сети электроснабжения, водоснабжения, воздухоснабжения и пароснабжения; существующие и проектируемые постоянные и временные внутрипостроечные дороги и связь; подъездные железнодорожные пути и автомобильные дороги; участковые, приобъектные, прирельсовые и базисные склады.

---

[1] Инструкция о порядке составления и утверждения проектов организации строительства и проектов производства строительных и монтажных работ по промышленному и гражданскому строительству. Госстрой СССР—Госстройиздат, 1959.

Таблица 55

Наименование предприятий, объектов и сооружений	Характеристика	Нормы продолжительности строительства в месяцах	Примерное распределение капитальных вложений по годам строительства в процентах к сметной стоимости предприятия, объекта или сооружения			
			1-й год	2-й год	3-й год	4-й год
I. *Гидроэлектростанции*	Проектная мощность в *квт*					
	300	20	60	40	—	—
	500	24	50	50	—	—
	1000	28	30	50	20	—
II. *Водохозяйственное строительство:*						
1. Самотечные орошаемые участки без плотины и насосной станции	Для орошения площади до 1 тыс. *га*	7	100	—	—	—
2. Оросительные системы с механическим орошением	Питание системы осуществляется за счет создания водохранилища. В состав системы входят плотина и насосная станция. Для орошения площади в 1 тыс. *га*	16	60	40	—	—
3. Самотечные оросительные системы на местном стоке	Питание системы осуществляется за счет создания водохранилища. В состав системы входит: плотина, магистральный канал, оросительная сеть и подсобные здания Для орошения площади в 2 тыс. *га*	18	60	40	—	—
4. Самотечные оросительные системы	Питание системы осуществляется из реки или водохранилища. В состав системы входят: водозаборные сооружения, магистральный канал, оросительная и дорожная сети, эксплуатационные здания Для орошения:					
	площади в 20 тыс. *га*	36	20	40	40	—
	площади в 40 тыс. *га*	48	15	25	30	30
5. Магистральные каналы	Проходящие по пересеченной местности и пересекающие балки и речки дюкерами, акведуками и насыпями. Для орошения площади свыше 40 тыс. *га*	36	20	40	40	—
6. Плотинные гидротехнические узлы сооружений	Земляная плотина с объемом насыпи до 2 млн. $м^3$, с водосбросными заборными сооружениями (бетона и железобетона 10—15 тыс. $м^3$)	30	20	40	40	—

Продолжение

Наименование предприятий, объектов и сооружений	Характеристика	Нормы продолжительности строительства в месяцах	Примерное распределение капитальных вложений по годам строительства в процентах к сметной стоимости предприятия, объекта или сооружений			
			1-й год	2-й год	3-й год	4-й год
7. Плотина с земляным или бетонным водосбросным каналом	Земляная плотина длиной до 200 *м*, высотой до 6 *м*; водосбросный канал длиной до 50 *м*, глубиной до 15 *м* с общим объемом земляных работ до 17 тыс. $м^3$	6	100	—	—	—
8. Осушительные системы	Сооружение постоянной осушительной сети с открытыми каналами. Для осушения:					
	площади до 1 тыс. *га*	12	100	—	—	—
	площади в 10 тыс. *га*	30	20	40	40	—
9. Осушение земель закрытым дренажем	Сооружение постоянной осушительной сети с прокладкой гончарного или другого вида дренажа. Для осушения площади в 500 *га*	12	100	—	—	—

На строительном генеральном плане условными обозначениями выделяются объекты, осуществляемые в подготовительный период.

При необходимости составляется ситуационный план района строительства, с указанием предприятий производственной базы строительства, расположенных вне строительной площадки, внешних путей и дорог, станций примыкания к железнодорожным путям и других объектов.

Проект производства работ разрабатывается по формам, установленным в Инструкции о порядке составления и утверждения проектов организации строительства и проектов производства строительных и монтажных работ.

Пояснительная записка к проекту организации строительства содержит ссылку на типовые решения или краткое описание и обоснование принятых методов производства основных строительных и монтажных работ, в том числе выполняемых в зимних условиях; она содержит расчеты потребности типов и мощности основных строительных и монтажных машин, механизмов и транспортных средств, а также количества рабочих с учетом запланированного роста производительности труда и обеспечения кадров жилыми и культурно-бытовыми зданиями, сооружениями и устройствами. В пояснительной записке обосновывается потребность строительства и способы удовлетворения водой, электроэнергией, паром, сжатым воздухом, дается перечень типовых проектов временных зданий и сооружений и основные решения по устройствам, осуществляемым в подготовительный период, обоснование и порядок удовлетворения потребности строительства в рабочих кадрах, материально-технических ресурсах, а также во временных зданиях, сооружениях и устройствах.

По плотинным узлам разрабатываются подробно вопросы пропуска воды в период строительства плотины, конструкция перемычек, вопросы перекрытия русла реки.

В пояснительной записке, кроме того, приводятся технико-экономические показатели—продолжительность строительства, уровень применения сборных конструкций, трудоемкость, выработка на одного рабочего на

строительстве в денежном выражении и уровень механизации строительства.

Для небольших объектов строительства, проектируемых в одну стадию, проект организации строительства может составляться в сокращенном объеме.

§ 2. ПОТРЕБНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КАДРАХ, МАТЕРИАЛАХ, МАШИНАХ И ДРУГИХ РЕСУРСАХ [1]

Потребность в кадрах определяется для всех категорий работающих—рабочих, инженерно-технических работников (ИТР), служащих, младшего обслуживающего персонала (МОП), занятых как на основном производстве, так и на подсобно-вспомогательных предприятиях и в коммунальном хозяйстве. Кроме того, для учета потребности в жилой площади и культурно-бытовом обслуживании определяется численность персонала, обслуживающего строительство,—работников торговли, здравоохранения, связи и др.

Численность рабочих определяется по укрупненным измерителям—по средней годовой выработке одного рабочего, занятого на строительном производстве; эта выработка устанавливается в планах по труду по отдельным стройкам или областям, краям и республикам. Численность ИТР, служащих и МОП устанавливается в размере 25% от численности рабочих, в том числе ИТР—10%, служащие—8%, МОП—2% и персонал других ведомств—5%.

Численность рабочих, занятых в подсобно-вспомогательных производствах, определяется в процентах от численности рабочих, занятых на строительно-монтажных работах: для крупных строек, имеющих свои собственные подсобно-вспомогательные предприятия, принимается 60%.

Общая численность населения на строительстве определяется по формуле:

$$N = \frac{A \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}85}{nB} k_c ,$$

где N — расчетная численность населения;

A — стоимость всех строительно-монтажных работ в тыс. руб.;

n — срок строительства в годах;

B — плановая среднегодовая выработка одного рабочего в руб.;

1,1 — коэффициент, определяющий максимальную годовую программу;

1,85 — коэффициент, учитывающий численность рабочих, занятых в подсобно-вспомогательных предприятиях, а также ИТР, служащих, МОП и персонал других ведомств (60% + 10% + 8% + 2% + 5%);

k_c — коэффициент семейности, средний для всех категорий работающих.

Потребность в строительных материалах и изделиях определяется на основе укрупненных показателей расхода их на 1 млн. руб. строительно-монтажных работ. При отсутствии таких показателей эта потребность определяется на основе норм расхода материалов на единицу объема работ путем выборки из смет к типовым и повторно-используемым проектам или на основе сметных норм.

Потребность в основных строительных и монтажных машинах (экскаваторах, землесосах, скреперах, автосамосвалах на земляных работах, кранах и др.) определяется на основе объемов работ, подлежащих выполнению, и норм выработки указанных машин; за расчетный принимается наибольший месячный объем, установленный по календарному плану работ.

Потребность во вспомогательных машинах и механизмах определяется по укрупненным показателям или по среднегодовому объему работ с коэффициентом $K_{нер} = 1{,}2$, учитывающему годовую неравномерность.

---

[1] Указания по составлению смет на мелиоративное строительство (УССМС 2—59). Министерство сельского хозяйства СССР—Гипроводхоз. 1959.

Потребность в транспортных средствах устанавливается также по укрупненным показателям на 1 млн. руб. строительно-монтажных работ или на основе расчетов, исходя из объема перевозок грузов.

Важнейшим вопросом проекта организации строительства является выбор наиболее рационального вида транспорта. Перевозки составляют значительную часть затрат на строительство и от бесперебойности работы транспорта зависит срок окончания сооружения.

Транспорт на строительстве разделяют на внешний и внутренний. Внешний транспорт связывает базисные склады и склады производственных предприятий стройки с сетью железных дорог и с водным транспортом, если стройка расположена вблизи водных артерий. Внутренний построечный транспорт распределяет доставленные на строительную площадку грузы внутри ее, а также перевозит грунты от экскаваторов к месту разгрузки, заполнители—к бетонному заводу, бетонную смесь—от бетонного завода к бетонируемым блокам, армоконструкции—от арматурного завода к блокам, щиты опалубки и плиты-оболочки—к блокам и т. д.

Железнодорожный транспорт широкой колеи применяют при крупном грузообороте и больших дальностях возки. Железнодорожный транспорт узкой колеи применяют при меньших объемах работ, когда прокладка железной дороги широкой колеи экономически не оправдывается, а также при стесненной территории строительной площадки.

Большой гибкостью обладает автомобильный транспорт; он особенно удобен при подвозке грузов в значительное количество точек на небольшие расстояния (до 3—5 *км*).

Состав ходового парка автомашин определяется по формуле:

$$A_э = \frac{P}{w},$$

где $A_э$ — состав ходового парка;

P — объем перевозок в $т \cdot км$;

w — производительность одного ходового автомобиля в $т \cdot км$.

Годовая выработка ходового парка автомашин определяется по среднегодовой норме пробега одной автомашины, принимаемой в 30 тыс. *км*, и среднему коэффициенту использования пробега для всего парка автомашин, равному 0,55.

Состав инвентарного парка автомашин устанавливают по формуле:

$$A_и = \frac{A_э}{\alpha_и},$$

где $A_и$ — состав инвентарного парка автомашин;

$\alpha_и$ — коэффициент использования подвижного состава, равный 0,75.

Для определения количества машино-смен автомашин можно пользоваться формулой:

$$N = \frac{Q\left(t + \frac{2l}{v}\right)}{8q},$$

где N — количество машино-смен автомашин;

Q — вес груза в $т$;

t — время погрузки и разгрузки 1 $т$ груза в час;

l — расстояние перевозки груза в один конец в *км*;

v — средняя скорость движения автомашины в оба конца в *км/час*;

q — грузоподъемность автомашины в $т$.

Потребность в автосамосвалах для перевозки грунтов при экскаваторной разработке определяется по нормам СН и П.

Погрузочно-разгрузочные работы при транспортировке грузов весьма трудоемки; неправильная организация их вызывает простои транспорта. Механизацию погрузочно-разгрузочных работ следует предусматривать как на прирельсовых базах и пристанях, так и на всех перевалочных пунктах строительной площадки. Однако механизация этих работ на гидротехниче-

ском строительстве применяется недостаточно, а на мелиоративном она поставлена неудовлетворительно.

Потребность в электроэнергии определяется по укрупненным показателям, или на основе данных типовых или повторно-используемых проектов, по количеству токоприемников (электрические экскаваторы, гидромониторно-землесосные установки и т. п.), календарному плану работ и по мощности электродвигателей строительных машин и механизмов.

Подсчет потребной мощности отдельных электростанций и трансформаторных пунктов на строительной площадке определяется по формуле:

$$P = \frac{1{,}1}{\cos\varphi}\left(K_c \Sigma P_c + K_c \Sigma P_{во} + K_c \Sigma P_{во} + K_c \Sigma P_{зим}\right),$$

где P — потребная мощность в *ква*;

1,1 — коэффициент, учитывающий потерю мощности в сетях;

$\cos\varphi$ — коэффициент мощности сети; для построечных условий $\cos\varphi = 0{,}75$;

K_c — коэффициент спроса, учитывающий неполную загрузку потребителей, несовпадение по времени их одновременной работы, несовпадение максимальных нагрузок, а также к. п. д. потребителя; K_c принимается от 0,6 до 1,00; для электрических экскаваторов, землесосов, механизмов на крупных водоотливных работах и др. K_c принимается по количеству работающих машин;

ΣP_c — сумма номинальной мощности силовых потребителей в *квт*;

$\Sigma P_{во}$ — то же, для внутреннего освещения;

$\Sigma P_{во}$ — то же, для наружного освещения;

$\Sigma P_{зим}$ — то же, для зимних работ.

Общая потребная мощность в электроэнергии для строительства в целом или мощность центральной электростанции при наличии нескольких трансформаторных подстанций определяется по формуле:

$$P_{общ} = (\Sigma P_1 + \Sigma P_2 + \Sigma P_3 + \ldots) K_1 K_2,$$

где $P_{общ}$ — общая потребная мощность в *ква*;

$\Sigma P_1 + \Sigma P_2 + \Sigma P_3 + \ldots$ — сумма электрической мощности самостоятельных подстанций или отдельных трансформаторных пунктов;

K_1 — коэффициент, учитывающий потерю электроэнергии на отдельных подстанциях, трансформаторных пунктах, а также потери в высоковольтной сети на участках отдельных подстанций до центральной электростанции; K_1 принимается от 1,05 до 1,06;

K_2 — коэффициент неучтенных потребителей электроэнергии, принимаемый в зависимости от точности расчетов, от 1,05 до 1,1.

В таблице 56 приведены некоторые нормы расхода электроэнергии на производственные цели и освещение строительных площадок.

Таблица 56

Потребители	Единица измерения	Потребная мощность в *квт*
Производственные нужды		
Вертикальная транспортировка строительных материалов на высоту до 15 *м* краном-укосиной и переносными дерриками	100 *т*	2,2—2,9
Разработка грунта электрическими экскаваторами в обычных грунтах	100 *м*³	50
То же, в мерзлых грунтах	100 *м*³	100
Приготовление бетона передвижными бетономешалками в летних условиях	100 *м*³	80
То же, в зимних условиях	100 *м*³	100
Производство железобетонных изделий с пропаркой	*м*³	22

Продолжение

Потребители	Единица измерения	Потребная мощность в *квт*
Освещение внутренних помещений		
Производственные помещения	1 тыс. $м^2$ пола	10—15
Административно-хозяйственные помещения	То же	15
Общежития и квартиры	» »	13
Склады	» »	3
Наружное освещение		
Механизированные земляные, бетонные работы	1 тыс. $м^2$ площади	0,8
Свайные работы	То же	0,3
Установка, сварка, клепка металлоконструкций	» »	2,4
Охранное освещение	1 пог. *км*	2

Потребность в воде для строительства (в *л/сек*) определяется по формулам:
для производственного потребления

$$Q_1 = \frac{q_1 K_1}{8 \cdot 3600};$$

для бытового потребления на строительной площадке

$$Q_2 = \frac{q_2 K_1}{8 \cdot 3600};$$

для поселка

$$Q_3 = \frac{q_3 K_2}{24 \cdot 3600},$$

где q_1 — расход воды в смену для производственного потребления в *л*;
K_1 — коэффициент сменной неравномерности потребления;
q_2 — расход воды в смену на строительной площадке для бытовых нужд (кубовые, души и др.) в *л*;
q_3 — расход воды в сутки в поселке для хозяйственно-бытовых нужд в *л*;
K_2 — коэффициент суточной неравномерности потребления воды.

Коэффициент сменной неравномерности потребления K_1 принимается для силовых установок равным 1,1, подсобных предприятий 1,25, строительных работ 1,5, транспортного хозяйства 2 и для санитарно-бытового потребления непосредственно на работах 2,7. Коэффициент K_2 принимается в пределах от 1,8 (для канализованных поселков) до 2,15 (для неканализованных поселков).

Общий расход воды для всего строительства или участка равен:

$$Q = (Q_1 + Q_2 + Q_3) K_3,$$

где K_3 — коэффициент неучтенных мелких потребителей и утечки, $K_3 = 1{,}15 \div 1{,}25$.

В том случае, когда общий расход воды Q получится меньше пожарного $Q_{пож}$, за расчетный расход воды принимают:

$$Q_{расч} = Q_{пож} + 0{,}5Q \ л/сек.$$

Расход воды на пожаротушение принимается: а) для поселков с населением до 5000 человек 2,5—5 *л/сек* на 1 пожар; для поселков с населением до 10 000 человек 10—15 *л/сек* на 2 пожара; для наружного пожаротушения на строительной площадке 15 *л/сек* (площадки до 10 000 $м^2$), 20 *л/сек* (площади до 20 000 $м^2$) и 36 *л/сек* (площадки до 50 000 $м^2$).

В таблице 57 приведены некоторые нормы потребления воды на производственные и хозяйственные нужды.

Таблица 57

Наименование потребителей	Единица измерения	Средняя норма в л
Приготовление холодного бетона	1 $м^3$	200—300
» теплого »	1 $м^3$	200—400
Промывка гравия и щебня механическим способом	1 $м^3$	750—1000
Экскаваторы с двигателями внутреннего сгорания	1 *экск/час*	13—20
Грузовые автомашины (заправка, питание, промывка)	1 *маш/сутки*	400—700
Тракторы	1 *маш/сутки*	300—600
Поселки канализованные	1 *жит/сутки*	60—80
Столовые	1 посет.	10—15
Школы	1 учащ.	12—15
Души	1 моющ.	25—30
Бани	1 моющ.	80—100

Таблица 58

Наименование зданий	Единица измерения	Общая площадь застройки в $м^2$	Строительная кубатура в $м^3$
Здания культурно-бытового назначения			
Детские ясли	На 1 жителя	0,1—0,17	0,35—0,6
Детские сады	То же	0,13—0,17	0,52—0,73
Школы	» »	0,33—0,42	1,2—1,5
Клубы со зрительным залом	» »	—	0,6—0,8
Здания общественного питания			
Столовые-кухни (при работе в 2 смены)	» »	0,3—0,35	1,1—1,25
Хлебопекарни	» »	—	0,15
Склады продовольственные	» »	0,03—0,032	0,3—0,5
Здания коммунального назначения			
Комбинаты бытового обслуживания	» »	0,027—0,04	0,1—0,14
Бани	» »	0,05—0,07	0,18—0,27
Прачечные	» »	0,02—0,03	0,07—0,11
Парикмахерские	» »	0,06	0,024
Здания сети здравоохранения			
Амбулатории и медпункты	» »	0,03—0,075	0,11—0,3
Аптеки	» »	0,032	0,12
Здания торговой сети			
Магазины	» »	0,12—0,16	0,5—0,67
Ларьки	» »	0,03—0,04	0,11—0,14
Административные здания			
Строительство с годовой программой работ:			
до 2 млн. руб.	на 1 млн. руб.	70—80	200—230
до 10 млн. руб.	годовой про-	50—60	150—180
до 30 млн. руб.	граммы	40—50	130—160
Здания предприятий связи, сберкассы			
Почтово-телеграфные отделения, сберкассы	на 1 тыс. жителей	90	320

Потребность в сжатом воздухе исчисляется по сумме расхода воздуха присоединенных к компрессорной установке инструментов и аппаратов. Производительность компрессорной установки определяется по формуле:

$$Q = \Sigma q K_{п} K_{о},$$

где Q — производительность компрессорной установки в $м^3/мин$;

Σq — сумма расхода воздуха присоединенных инструментов и аппаратов в $м^3/мин$;

$K_{п}$ — коэффициент, учитывающий потери воздуха от неплотности трубопровода и изношенности инструментов и аппаратов; ($K_{п} = 1{,}3 - 1{,}5$);

$K_{о}$ — коэффициент одновременности, зависящий от количества присоединенных к компрессорной установке инструментов и аппаратов:

число инструментов и аппаратов	1—10	12—80
$K_{о}$	1—0,71	0,69—0,42

Потребность в жилой площади и культурно-бытовом обслуживании строительства определяется с учетом привлечения на работы местного населения, обеспеченного жильем, использования местного жилого фонда для размещения приезжих рабочих и удовлетворения потребности в жилье в период пика работ за счет использования палаток, передвижных вагончиков и юрт.

Для жилья и культурно-бытового обслуживания контингента строителей должны быть использованы все здания и сооружения строящегося предприятия, предусмотренные для этих целей, поэтому указанные здания и сооружения должны строиться в первую очередь в подготовительный период.

Нормы жилой площади для контингента строительных поселков, принимая во внимание временный характер их заселения, устанавливаются более жесткими, чем для работников службы эксплуатации: для рабочих, ИТР и их семей—6 $м^2$ на 1 человека и для прочего населения—4,5 $м^2$. Количество рабочих, ИТР и их семей принимается в размере 20% от численности населения, подлежащего обеспечению жилой площадью.

Объем зданий культурно-бытового назначения для нужд строительства принимают в размере 7—9 $м^3$ на одного жителя строительного поселка.

В таблице 58 указаны некоторые нормы для определения площади и строительной кубатуры зданий культурно-бытового назначения.

§ 3. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БАЗА СТРОИТЕЛЬСТВА

Строительство гидромелиоративных систем и сооружений, так же как и зданий и сооружений в любой отрасли народного хозяйства, требует для своего осуществления непрерывного, бесперебойного поступления на строительную площадку необходимых строительных конструкций, деталей полуфабрикатов и строительных материалов. Заготовка местных строительных материалов, конструкций и деталей и их доставка на строительную площадку производится, как правило, непосредственно строительными организациями. Для этого в их составе организуются различные подсобные предприятия (карьеры по добыче камня и заполнителей для бетона, заводы и полигоны по производству железобетонных конструкций, деревообделочные мастерские и др.), образующие так называемую производственную базу строительства.

Однако создание производственных баз, особенно для небольших строек, приводит к распылению сил и средств строительной организации, удлиняет сроки строительства и повышает его стоимость.

Для дальнейшей индустриализации строительства и превращения строительной площадки в монтажно-сборочную необходима организация районных и местных предприятий строительной индустрии с целью снабжения своей продукцией тяготеющих к ним строек.

В освоенных районах создание приобъектных установок, полигонов и т. п. может быть оправдано лишь для особо крупных строек или объектов строительства, удаленных от районных и местных предприятий; в последнем случае производственные установки строительных организаций должны проектироваться в виде инвентарных, сборно-разборных предприятий местного значения.

При строительстве гидромелиоративных систем и сооружений во вновь осваиваемых районах и необходимости организации для этого постоянной производственной базы предприятия такой базы и жилые поселки для строителей должны проектироваться на основе календарных планов осуществления строительства, а также с учетом перспективы его развития в данном районе и возможности производственного кооперирования со смежными районами.

Строительство предприятий производственной базы должно производиться, как правило, на основе типовых или повторно-используемых проектов.

Для строительства гидромелиоративных систем и сооружений может возникнуть необходимость в организации подсобных производственных предприятий: карьеров, бетонных заводов, заводов плит-оболочек, заводов и полигонов по производству железобетонных элементов (блоков) для сборных сооружений, арматурных, опалубочных и ремонтно-механических мастерских, складов, гаражей, установок для энергоснабжения и водоснабжения и др.

Карьерное хозяйство. Для удешевления стоимости заготовки щебня, гравия, песка, камня карьеры должны быть механизированы и оснащены высокопроизводительными машинами и оборудованием. Из опыта работы Куйбышевгидростроя известно, что на разрабатывавшихся карьерах Жигулевском, Сокском и в Яблоновом овраге годовой мощностью соответственно в 800, 1500 и 1600 тыс. $м^3$ энерговооруженность была 3,2; 4,3 и 6,2 *квт* на одного рабочего, а годовая выработка была соответственно 1600, 3200 и 3220 $м^3$ на одного рабочего. Карьеры Волгодонстроя имели годовую производительность до 840 тыс. $м^3$, карьеры Куйбышевгидростроя около 4 млн. $м^3$.

Арматурные мастерские. Организация арматурных работ изложена выше, в главе XXI.

Деревообделочные мастерские организуются на стройках для изготовления опалубки и деревянных конструкций гидротехнических сооружений (деревянные трубопроводы, шпунт, шпонки, вкладыши и др.). В состав этих предприятий входят три основных цеха: а) заготовительный, оборудованный лесопильной рамой и пильными станками для продольной и поперечной распиловки древесины; б) обрабатывающий, оборудованный пильными, фуговальными, строгальными, обрезными и фрезерными станками, и в) сушильный для сушки древесины воздушным способом или в сушильных камерах.

Ремонтно-механические мастерские и заводы. Главным условием эффективного использования строительных машин и механизмов является правильная и рациональная система ремонта их, обеспечивающая длительную и бесперебойную работу всего строительного оборудования. Наиболее рациональной признается система планово-предупредительного ремонта. В эту систему входят следующие виды ремонтов: технический уход (ремонт № 0), текущие ремонты № 1, 2, 3, средний ремонт и капитальный ремонт.

Технический уход производится ежедневно и имеет своей целью предупреждение от преждевременного износа и поломки деталей машины; он заключается в техническом осмотре машины и устранении мелких дефектов.

При текущих ремонтах производится замена быстроизнашивающихся деталей, регулировка узлов машины и мелкие исправления; эти ремонты выполняются персоналом, обслуживающим машины на месте работ или на месте стоянки машины. Средний ремонт выполняется с частичной разборкой машины и заменой изношенных деталей новыми или отремонтированными.

При капитальном ремонте производится полная разборка машины на отдельные узлы и детали, с заменой изношенных.

Средний и капитальный ремонты выполняются в ремонтных мастерских и на ремонтных заводах.

Для строительства гидромелиоративных систем и сооружений разработаны специальные типовые проекты ремонтно-механических мастерских, основные показатели которых (главных корпусов) приведены в таблице 59.

Таблица 59

Объем годовой программы строительно-монтажных работ в млн. руб.	Тип мастерской	Площадь застройки в м²	Строительная кубатура в м³	Годовая программа мастерской в тыс. руб.	
				всего	в том числе
					ремонтные работы
До 10	Ремонтно-механическая строительного участка	317	1904	202	157
От 10 до 20	Ремонтно-механическая строительной конторы	588	3972	504	416
От 20 до 40	Ремонтно-механические строительного треста, строительного управления	1157	8773	1204	1004

Выбор мастерских и их количество определяются в проекте организации строительства, при этом необходимо учитывать возможность выполнения капитальных ремонтов строительных машин и оборудования, тракторов и автомобилей на специализированных заводах сельского и водного хозяйств и других организаций.

На крупных стройках ремонтные предприятия организуются в составе центрального ремонтно-механического завода, районных и участковых ремонтно-механических мастерских.

Центральный ремонтно-механический завод производит ремонт сложного и тяжелого оборудования, изготовляет запасные части, инструмент для ремонтно-механических мастерских строительства, а также нестандартное оборудование; являясь крупным предприятием, он должен сооружаться для обслуживания нескольких строек. Так, например, центральный ремонтно-механический завод № 4 Куйбышевгидростроя обслуживал строительство Куйбышевской и Сталинградской ГЭС.

Районные ремонтно-механические мастерские, обслуживая какой-либо район строительства, предназначаются для выполнения средних ремонтов, изготовления строительного инвентаря, поковок и несложных приспособлений, а также капитальных ремонтов путем замены изношенных узлов готовыми, без изготовления запасных частей.

Участковые мастерские производят капитальный и средний ремонты простых машин, текущий ремонт всех машин, а также изготовляют строительный инвентарь, инструмент, несложные поковки и метизы.

Для текущих и аварийных ремонтов целесообразно использовать передвижные мастерские, смонтированные в передвижных вагончиках или на шасси автомобилей.

На крупных стройках могут быть организованы специализированные ремонтно-механические предприятия: авторемонтные и тракторо-ремонтные заводы и мастерские, заводы по ремонту экскаваторов, двигателей и т. п.

Производственная мощность ремонтных предприятий определяется по укрупненным измерителям или аналогам повторно-используемых проектов; для гидромелиоративного строительства годовая стоимость всех видов

ремонтов принимается в размере до 3% к годовой программе строительства (по году наибольших затрат).

Более точный метод определения производственной мощности ремонтных предприятий применяется на основе списочного состава машин и оборудования по нормам количества ремонтов и их трудоемкости, руководствуясь «Инструкцией о порядке проведения планово-предупредительного ремонта экскаваторов, кранов, строительных машин и двигателей» (И 117—56), утвержденной Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства.

В таблице 60 приведены данные из указанной инструкции по ремонту некоторых строительных машин.

Таблица 60

Наименование машин, двигателей и оборудования	Вид ремонта	Рабочее время межремонтного периода в машино-часах	Количество ремонтов в одном цикле	Трудоемкость ремонта в человеко-часах			Время нахождения машин в ремонте в календарных сутках
				всего	в том числе		
					слесарных и прочих	станочных	
Экскаваторы одноковшовые на пневматическом ходу с ковшом емкостью 0,15 $м^3$	$Т_1$	200	16	20	20	—	1,0
	$Т_2$	600	4	108	77	31	3,5
	$Т_3$	1200	2	324	231	93	7,0
	С	2400	1	648	462	186	11,0
	К	4800	1	1080	770	310	18,0
Скреперы емкостью 6—9 $м^3$ (без трактора)	$Т_1$	400	8	7	7	—	0,5
	$Т_2$	800	6	33	27	11	2,0
	С	3200	1	228	162	66	6,0
	К	6400	1	380	265	115	10,0
Бетономешалки передвижные емкостью 425 *л*	$Т_3$	400	8	35	28	7	2,0
	С	2000	1	162	114	48	5,0
	К	4000	1	270	190	80	8,0
Двигатели дизельные мощностью 51—100 *л. с.*	$Т_1$	200	12	10	10	—	0,5
	$Т_2$	800	2	46	32	14	2,0
	С	1600	1	276	193	83	6,0
	К	3200	1	460	322	138	10,0
Машины для стыковой сварки, сварочная мощность до 25 *ква*	$Т_1$	800	7	3	3	—	0,25
	К	6400	1	100	70	30	4,0

В таблице 60 $Т_1$; $Т_2$; $Т_3$—текущие ремонты; С—средний ремонт; К—капитальный ремонт; ремонтный цикл—время работы машины между двумя капитальными ремонтами, выраженное в машино-часах, для новых машин; это время исчисляется с момента ввода машины в эксплуатацию до первого капитального ремонта; межремонтный период—время работы машины между двумя очередными ремонтами, выраженное в машино-часах.

Складское хозяйство. Склады на строительстве по месту расположения и назначению делятся на прирельсовые, базисные (центральные), участковые, приобъектные и склады при производственных предприятиях. Если необходима перегрузка материалов с одного вида транспорта на другой, организуются перевалочные склады.

По своей конструкции склады делятся на открытые, склады-навесы и закрытые. Открытые склады устраивают для хранения материалов, не портящихся от атмосферных влияний (камень, песок, гравий и т. п.); в полузакрытых складах-навесах хранятся материалы, не боящиеся воздействия температуры или влажности, но портящиеся от дождя и снега (сортовая сталь, столярные изделия и пр.); закрытые склады устраивают для хранения материалов, требующих защиты от атмосферных влияний (цемент, известь, ВВ и др.).

Кроме того, склады разделяются на универсальные—для хранения разнообразных материалов, и специализированные—для хранения ВВ, цемента, жидкого топлива и т. п.

Количество материалов, подлежащих хранению на складе, определяется по формуле:

$$P = \frac{Q}{t} n K_{н},$$

где P — количеству материалов, подлежащих хранению на складе (в соответствующих измерителях);

Q — количество материалов, необходимое для выполнения строительства в течение расчетного периода интенсивного расходования материалов, с учетом убыли при хранении, перегрузках и перевозках (в тех же измерителях);

t — продолжительность расчетного периода в днях;

n — норма запаса материалов в днях;

$K_{н}$ — коэффициент неравномерности расхода материалов в течение расчетного периода. При t, равном 1 кварталу (75 рабочих дней), коэффициент $K_{н} = 1$; при t, равном 1 году (300 рабочих дней),

$$K_{н} = \frac{4M_{кв}}{M_{год}};$$

$M_{кв}$ — плановая потребность в материалах на расчетный (напряженный) квартал;

$M_{год}$ — общий расход материала в год.

Нормы запаса материалов, одновременно хранящихся на всех складах строительства, определяются по данным таблицы 61.

Таблица 61

Наименование материалов	Единица измерения	Транспорт		
		железнодорожный	водный	автомобильный
Лесоматериалы	месяц	1,5	2,5	До 1,0
Цемент, гипс и др.	»	2,0	2,0	» 1,0
Металл, трубы	»	1,0	1,0	» 0,5
Гвозди, метизы, мягкая кровля, стекло и прочие фондируемые материалы	»	2,0	2,0	» 1,0
Гравий, щебень, песок	»	1,0	1,0	» 0,3
Кирпич	»	0,5	0,5	» 0,4
Бутовый камень и прочие местные материалы	»	0,5	0,5	» 0,3

При заготовке материалов, доставляемых водным путем, учитывается дополнительный запас материалов на межнавигационный период.

Полезная площадь склада принимается по формуле:

$$F = \frac{P}{V},$$

где F — полезная площадь склада;

V — количество материалов, укладываемых на 1 $м^2$ площади склада.

Норма укладки материалов на 1 $м^2$ площади склада принимается по данным таблицы 62.

Общая площадь склада, включая проходы, определяется по формуле:

$$S = \frac{F}{\alpha},$$

где α — коэффициент использования площади склада, принимается по следующим данным:

Склады закрытые, оборудованные стеллажами	0,4—0,5
» » » закромами	0,7—0,9
» » для хранения грузов в штабелях	0,5—0,7
» открытые для хранения лесоматериалов	0,45—0,55
» » » металлов	0,55—0,65
» » заполнителей бетона	0,6—0,8

Таблица 62

Наименование материалов	Единица измерения	Количество материалов, укладываемых на 1 м² площади склада	Высота укладки в м	Вид укладки	Способ хранения
Гравий, песок и щебень в механизированных складах	м³	3—4	5—6	Штабель	Открытый
Цемент в механизированных складах, в бункерах	т	2,5—4	2—3	Навалом	Закрытые бункеры
То же, в силосах	»	7—12	6—10	»	Закрытые силосы
Цемент в немеханизированных складах:					
в мешках	»	1,3	2	Штабель	Закрытый
в бочках	»	1,5	1,8	»	»
навалом	»	2—2,8	1,5	Навалом	»
Катанка, в бухтах	»	1,5—1,9	1,0	Штабель	Навес
Трубы стальные, чугунные, асбоцементные	»	0,5—1,5	1—1,2	»	Открытый
Железобетонные изделия	м³	0,3—0,8	0,8—1,5	»	»

§ 4. ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВОМ

В промышленном строительстве основным способом ведения строительно-монтажных работ является подрядный. В водохозяйственном строительстве хозяйственный способ имеет еще значительное распространение. Подрядное производство работ осуществляется специальными трестами, конторами, машинно-мелиоративными, машинно-экскаваторными и лесозащитными станциями. Если на строительной площадке работают несколько подрядных организаций, то одна из них является генеральным подрядчиком, заключающим договор на все строительно-монтажные работы. Генеральный подрядчик заключает договоры с субподрядчиками и является ответственным за все выполняемые на строительстве работы.

Для наблюдения за работой проектных и строительных организаций назначаются дирекции строящихся предприятий, в обязанности которых входят: 1) наблюдение за ходом проектирования и его сроками, приемка от проектирующей организации проектных и сметных материалов, проверка их качества и соответствие утвержденному заданию, представление проекта и сметы в соответствующие организации на утверждение; 2) представление финансирующему банку документов для оплаты за выполненные работы, наблюдение за качеством работ, сроками их выполнения и соответствия их проекту; выделение строительству необходимых авансов, заключение договоров с подрядчиками. Обычная структура строительных организаций: трест—строительно-монтажное управление (СМУ)—строительный участок.

Строительные участки являются самостоятельными производственно-хозяйственными единицами строительства, имеющими в своем распоряжении необходимые средства для ведения строительных и монтажных работ. Непосредственными руководителями работ на отдельных сооружениях являются производители работ (прорабы), подчиненные строительному участку. Строительные машины и механизмы находятся в распоряжении участка.

До начала работ строительная организация обязана детально ознакомиться с основными документами: титульным списком, проектом и сметой, проектом организации работ, топографическими, гидрогеологическими, гидрологическими и метеорологическими условиями строительной площадки; результатами технико-экономических изысканий. Строители обязаны проанализировать эти материалы с точки зрения рационализации конструкций и методов производства работ, уменьшения объемов вспомогательных сооружений, снижения стоимости строительства. Критический разбор проекта на строительстве всегда приносит положительные результаты.

Диспетчерская система управления в последнее время с успехом применяется на стройках и способствует большей оперативности руководства работами и контролю выполнения плана. Диспетчеризацией называется система централизованного, непрерывного во времени, оперативного регулирования, контроля и управления ходом строительно-монтажных работ. Диспетчеры назначаются в качестве заместителей начальников следующих звеньев: а) главный диспетчер при главном инженере строительства; б) участковые диспетчеры на участках с количеством рабочих не менее 400—500; в) диспетчеры по материальному снабжению и транспорту в соответствующих отделах управления; г) диспетчеры крупных подсобных предприятий строительства.

В задачу диспетчеров входит: 1) оперативное регулирование производства работ и деятельности подсобных предприятий; 2) регулирование снабжения строительных участков, отдельных объектов и подсобных предприятий; 3) координирование и увязка работ различных звеньев строительства; выявление и быстрое устранение различных неполадок производства, простоев, аварий и предупреждение их; 5) постоянный и непрерывный контроль выполнения оперативных планов и ежедневное представление сводок о ходе работ.

Свои функции диспетчеры осуществляют как при помощи телефонной, селекторной связи и радиосвязи, так и путем непосредственного ознакомления с ходом работ на месте.

Надежная связь на строительстве особенно нужна при диспетчерской системе управления, поэтому между диспетчерскими помещениями, участками, подсобными предприятиями и строящимися сооружениями должна иметься прямая телефонная связь, не зависящая от внутрипостроечной сети, радиосвязь и селекторная связь.

Для вызова производителей работ и других линейных работников применяются радиотелефоны с громкоговорителями, устанавливаемые в ряде точек строительных участков.

Большую пользу в управлении строительным производством принесло бы использование телевидения; наличие экранов в кабинете главного инженера, главного диспетчера и других руководителей, показывающих отдельные участки строительной площадки, способствовало бы успешному ходу строительства.

Весьма целесообразна установка на строительных машинах и механизмах специальных контрольно-учетных приборов, автоматически отмечающих время работы машин и механизмов и количество выполненных циклов с передачей результатов в диспетчерские помещения.

Диспетчерская система руководства хорошо себя зарекомендовала и заслуживает широкого распространения.

§ 5. ПРОЕКТ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ

Проекты производства работ составляются строительными организациями по рабочим чертежам отдельных сооружений или их групп (например, пусковой комплекс).

Проект производства работ должен содержать:

а) календарный план производства работ по объекту (или пусковому комплексу), в котором указываются: наименование работ, их объем, трудоемкость работ в человеко-днях по ЕН и Р, наименование потребных строительных машин, количество машино-смен, необходимых для выполнения заданного объема работ, продолжительность работ в днях, количество смен, число рабочих в смену, номера и состав комплексных или специализированных бригад и распределение объемов работ по месяцам и неделям с привязкой к бригадам;

б) график (помесячный) поступления на объект строительства строительных конструкций, материалов и технологического оборудования, с приложением комплектовочной ведомости для первого года строительства;

в) график движения рабочих по профессиям с указанием общей потребности рабочих по объекту в человеко-днях и среднесуточного числа рабочих по месяцам;

г) график работы основных строительных и монтажных машин на объекте, с указанием количества машин, общего количества машино-смен и распределения их по месяцам;

д) строительный генеральный план объекта (или пускового комплекса объектов), с расположением транспортных путей, схем водоснабжения и энергоснабжения, механизированных установок, кранов, складов и других сооружений и устройств, необходимых для производства строительно-монтажных работ;

е) технологические карты на сложные работы и работы, выполняемые новыми методами, а также схемы организации прочих работ и описание последовательности и методов производства работ, с подсчетом потребных ресурсов в том случае, если отсутствуют типовые решения производства работ;

ж) рабочие чертежи временных зданий, сооружений и устройств, если нет типовых решений;

з) решения по технике безопасности, требующие проектной разработки;

и) краткую пояснительную записку, содержащую обоснования основных решений, принятых в проекте производства работ, и технико-экономические показатели.

При строительстве несложных объектов состав проекта может быть ограничен календарным планом производства работ, стройгенпланом и при необходимости пояснительной запиской.

Проекты производства работ утверждаются главным инженером строительной организации не позднее чем за 1 месяц до начала строительства объекта. Выполнение строительно-монтажных работ без проектов производства работ не допускается.

Глава XXXIV

ФИНАНСИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА. УЧЕТ И ОТЧЕТНОСТЬ [1]

§ 1. ВОПРОСЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Источники финансирования. Основным источником финансирования гидромелиоративного строительства являются ассигнования государственного бюджета; кроме того, источником финансирования могут быть средства колхозов (при строительстве колхозных и межколхозных гидроэлектростанций, прудов, водоемов, и др.), экономия от снижения стоимости строительства и др.

Все средства, предназначенные на капитальное строительство, сосредоточиваются в государственных банках долгосрочных вложений.

---

[1] Глава XXXIV написана инж. М. И. Ярушиным.

Объем капитальных вложений устанавливается каждой стройке на год и поквартально. Финансирование производится банком по годовым титульным спискам и в пределах сумм, установленных утвержденными сметами.

В титульном списке указывается месторасположение строящегося предприятия, его проектная мощность, сроки начала строительства и ввода в действие, в том числе пусковых объектов, с указанием необходимых для этого ассигнований, полная сметная стоимость строительства, перечень объектов и работ на планируемый год и размер капитальных вложений.

В процессе строительства расчет между заказчиком и подрядчиком за выполненные работы производится по сметам к рабочим чертежам в следующем порядке.

1) По объектам со сметной стоимостью до 200 тыс. руб., а для сельскохозяйственного строительства до 100 тыс. руб.—на основании актов приемки за весь выполненный объем работ без промежуточных расчетов.

Такой же порядок расчета установлен для объектов со сметной стоимостью более 200 тыс. руб., а для сельскохозяйственного строительства более 100 тыс. руб., если срок строительства этих объектов не превышает 6 месяцев. Впредь до окончательного расчета по таким объектам банк оплачивает декадные и месячные промежуточные счета подрядчика без приложения актов приемки работ в пределах до 90% сметной стоимости строящегося объекта; к месячному счету подрядчик представляет справку о стоимости выполненных за месяц строительно-монтажных работ.

2) По объектам со сметной стоимостью свыше 200 тыс. руб., а по сельскохозяйственному строительству свыше 100 тыс. руб., при сроке строительства более 6 месяцев расчеты между заказчиком и подрядчиком за выполненые работы производятся на основании квартальных актов приемки по законченным конструктивным элементам и видам работ и их частям и по стоимости, предусмотренной в сметах, составленных по рабочим чертежам. Промежуточные декадные и месячные счета подрядчика банк оплачивает без приложения актов приемки.

Кроме того, банк оплачивает подрядчику стоимость отгруженных, завезенных и заготовленных на строительной площадке строительных конструкций и других изделий в пределах, как правило, не более текущей трехмесячной потребности.

При осуществлении работ хозяйственным способом, что имеет еще место в гидромелиоративном строительстве, и при сметной стоимости строительства более 3 млн. руб., финансирование его производится по мере выполнения работ. Со счета финансирования банк перечисляет на расчетный счет средства на оплату счетов на поставку оборудования, заготовку материалов и строительных конструкций и другие расходы, а также средства за выполненные работы по актам приемки, составленным в том же порядке, что и при подрядном способе ведения работ.

Для небольших строек, при сметной стоимости менее 3 млн. руб., расчетный счет не открывается и выдача средств производится со счета финансирования для оплаты работ не комплексно, а по элементам затрат, т. е. на выплату зарплаты, на оплату счетов за материалы, оборудование, на накладные расходы и т. п.

Банки представляют подрядным строительным организациям краткосрочный кредит на заготовку строительных материалов и горючего, на капитальный ремонт строительных машин и т. п. С 1955 г. введен новый вид кредита на двухгодичный срок по внедрению в строительство новой технологии, механизации и улучшению технологии производства, рационализации и интенсификации производственных процессов.

Подрядные строительные организации наделяются оборотными средствами на приобретение малоценного и быстроизнашивающегося инвентаря и инструмента, вспомогательных материалов, на покрытие расходов по устройству временных приспособлений и незавершенному производству подсобно-вспомогательных предприятий строительства, не выделенных на

самостоятельный баланс, а также на создание фонда денежных средств. Часть оборотных средств подрядной строительной организации формируется за счет авансов заказчика, выделяемых на основе годовых подрядных договоров, на заготовку материалов, конструкций и других ресурсов.

На банки, финансирующие строительство, возложена проверка соблюдения строительными организациями проектно-сметной, плановой и финансовой дисциплины. В этих целях банкам предоставлено право, без вмешательства в оперативно-хозяйственную деятельность строительных организаций, осуществлять обследование строительств, производить контрольные обмеры выполненных работ, требовать своевременного представления бухгалтерской и статистической отчетности, а также требовать от строительной организации и вышестоящих органов принятия необходимых мер для устранения обнаруженных недостатков на строительстве.

Фонд начальника строительно-монтажной организации. При выполнении стройкой плана по установленным показателям производится отчисление в фонд начальника строительно-монтажной организации для премирования работников строительства за выполнение и перевыполнение квартальных заданий по снижению себестоимости строительно-монтажных работ, за ввод в действие важнейших объектов строительства в срок и досрочно, за внедрение новой прогрессивной техники.

Инженерно-техническим работникам управлений и трестов механизации, машинно-прокатных баз, автотранспортных хозяйств и подсобных производств строек могут выплачиваться премии за снижение себестоимости эксплуатации машин, перевозок и других работ.

Перечень должностей работников строительства, которые могут быть премированы, устанавливается в типовых положениях. Инженерно-технические работники строительства, не предусмотренные перечнем, а также служащие могут премироваться руководителем стройки по согласованию с профсоюзной организацией в разовом порядке за активное содействие в выполнении и перевыполнении плановых заданий.

§ 2. УЧЕТ И ОТЧЕТНОСТЬ

Учет в капитальном строительстве служит средством контроля и повседневной проверки выполнения планов; он является средством показа передового опыта в строительстве и основой для составления оперативно-технической, статистической и бухгалтерской отчетности.

Бухгалтерский учет капитального строительства производится по фактической стоимости. Помимо этого, ведется учет по сметной стоимости и по плановой себестоимости. Плановая себестоимость устанавливается в соответствии с заданием по снижению себестоимости строительно-монтажных работ; она равна сметной стоимости за вычетом размера заданного снижения и предусмотренных в сметах плановых накоплений.

На основе задания по снижению себестоимости работ каждая подрядная организация и застройщик ежегодно разрабатывают мероприятия, обеспечивающие выполнение установленного задания.

Учет производится по отдельным объектам строительства, имеющим сметы, в соответствии с внутристроечным титульным списком; общие затраты, непосредственно не относящиеся к определенному объекту, учитываются отдельно, с последующим пропорциональным распределением этих затрат на объекты при определении их инвентарной стоимости.

Учет капитальных вложений по каждому объекту и по строительству в целом производится по следующим типовым видам затрат для всех отраслей народного хозяйства.

а) строительные работы, включая монтаж металлоконструкций;

б) буровые работы по эксплуатационному и разведочному глубокому бурению нефтяных и газовых скважин, осуществляемые по плану капитальных вложений;

в) работы по монтажу оборудования;

г) оборудование, требующее монтажа (сданное в монтаж);

д) оборудование, не требующее монтажа, зачисляемое в основные фонды, инструмент и инвентарь, затраты на приобретение которого предусмотрены в плане капитальных вложений;

е) прочие капитальные работы и затраты.

Оперативно-технический учет использует данные о количестве рабочих на строительстве, их выработке, о типах и количестве строительных машин и механизмов, а также транспортных средств, их производительности и использовании во времени, об объемах выполненных работ и расходе строительных и эксплуатационных материалов.

Учет выработки и заработной платы рабочих. Первичными основными документами по учету выработки рабочих и их заработной плате являются наряд или рапорт на оплату за работу на строительных машинах. Наряд выдается на сдельную работу бригадиру (старшему звена) или одному рабочему; в наряде указывается объект строительства, перечень подлежащих выполнению работ, условия их выполнения, норма выработки и расценка за единицу работы.

После выполнения работ и их приемки в наряд выписывается количество фактически выполненных работ, норма времени на фактически выполненную работу, сумма заработной платы и отметка о качестве выполненной работы.

На обратной стороне наряда ведется табель на каждого рабочего и вписывается сумма его заработной платы.

Заработная плата рабочим, оплачиваемым повременно, начисляется на основании табеля-расчета.

Учет выполненной работ и заработной платы рабочих, занятых на строительных машинах и механизмах, производится на основе сменных рапортов.

Учет работы строительных машин и механизмов и начисление заработной платы рабочим, занятым на экскаваторах, скреперах, бульдозерах, кранах и др., ведется по сменному рапорту; в нем указывается количество выполненной работы, распределение рабочего времени машины за смену и табель с указанием количества отработанных часов каждым членом бригады, работавшим на машине.

В сменных рапортах приводятся также данные о расходе горючего (электроэнергии) и смазочных материалов.

По второстепенным машинам и механизмам рапорты не составляются и работа их учитывается механиком или мастером (десятником) в особом табеле, где указывается наименование объекта, на котором машина работала, и количество часов работы.

Учет работы автотранспорта производится на основе путевых листов, выдаваемых водителям машин; без этого листа машина не может быть выпущена из гаража на работу. В них указывается: показание спидометра, наличие оставшегося в баках горючего после возвращения в гараж, отметки потребителей транспорта, подтверждающих маршруты, количество рейсов и перевезенного груза; кроме того, к путевому листу прикладываются справки о выполненной работе, заверенные приемщиками грузов, подтверждающие записи в путевом листе.

На основе путевого листа начисляется заработная плата водителям машин и грузчикам, премии за экономию горючего и резины, устанавливается пробег машины, расход горючего, смазочных материалов, резины, определяется амортизация и межремонтные пробеги автомашин.

Учет материалов и оборудования. Все поступающие на строительство материалы и оборудование принимаются и приходуются на основе сопроводительных документов, с проверкой в натуре; при обнаружении недостачи, порчи или отклонений от стандартов составляется акт, на основе которого предъявляются претензии к поставщикам.

Отпуск материалов и оборудования со складов производится по требованиям, заборным или лимитным картам; последние выписывают по каждому объекту или группе мелких объектов.

Списание материалов в расход на строящееся сооружение или на переработку удостоверяется актами. Получение изделий от переработки материалов также актируется и приходуется.

Учет отдельных строительных процессов ведется в журнале работ. Так, например, при возведении земляных укатанных плотин в журнал записывается характеристика грунтов, укладываемых в тело плотины, их влажность, толщина укладываемого слоя, способ укатки, число проходов катка, объемный вес уплотненного грунта. При укладке бетона в конструктивный элемент сооружения в журнале фиксируется марка бетона, состав бетонной смеси и водоцементное соотношение, вид и активность цемента, осадка конуса, температура бетонной смеси при выходе бетона из бетономешалки, температура бетонной смеси при укладке, объем бетона, уложенного в смену, способ уплотнения бетонной смеси (тип вибратора), температура воздуха, атмосферные осадки, маркировка контрольных образцов, результаты испытания контрольных кубиков при распалубке и через 28 дней, дата распалубки данной части сооружения.

Ведутся специальные журналы при работе землесосных установок, забивке свай и др.

Обмер работ. Учет количества выполненных работ устанавливается путем их обмера в натуре, а также на основании инструментальной съемки поперечных и продольных профилей выполненных выемок и насыпей.

Отчетность по капитальному строительству составляется по формам и инструкциям Центрального статистического управления при Совете Министров СССР (ЦСУ); она является единой для всех министерств и ведомств и представляет собой систему показателей, характеризующих деятельность строительного предприятия.

В зависимости от сроков представления отчетности она может быть периодической (месячной, квартальной) и годовой. Годовая отчетность является завершением и обобщением периодической отчетности.

Основной формой почтовой отчетности застройщика (титулодержателя—дирекции строящегося предприятия) является форма № 2кс—отчет о выполнении плана капитальных вложений, представляемая застройщиком ежемесячно статистическому управлению по месту нахождения застройщика, районному (городскому) инспектору ЦСУ и своей вышестоящей организации. По этой же форме застройщик отчитывается в выполнении плана капитального строительства, осуществляемого хозяйственным способом.

Основной формой почтовой отчетности для подрядной строительной организации является месячная форма № 1 кс.

В объем выполненных строительных работ включаются только законченные части конструктивных элементов и видов работ. Незаконченные части отдельных конструктивных элементов и видов работ могут включаться в объем выполненных строительно-монтажных работ лишь в случае, когда сметными нормами допускаются промежуточные расчеты по этим работам. По стройкам, ведущимся хозяйственным способом и финансируемым по элементам затрат, в выполненный объем капитальных вложений включаются все фактически выполненные строительные работы, в том числе и незавершенное производство.

По форме № 3-т строительная организация ежемесячно отчитывается в выполнении плана по труду.

Отчет о выполнении плана механизации трудоемких и тяжелых работ представляется поквартально по форме № 1-ит, в которой указывается в натуральных показателях выполнение основных видов строительных работ (земляных, бетонных, погрузочно-разгрузочных и др.), в том числе выполненных комплексной механизацией. В этой же форме представляются отчетные данные в натуральном выражении о выработке основных строительных

машин (экскаваторов, землесосов, скреперов и др.), а также об использовании машин по времени.

Форма № 2-сн представляется один раз в квартал; в ней дается отчет об остатках, поступлении и расходе строительных материалов в капитальном строительстве, со справкой о расходе на строительно-монтажные работы сборных бетонных и железобетонных конструкций и деталей.

По приведенным формам № 3-т, № 1-нт и № 2-сн отчитываются и застройщики при выполнении ими планов капитального строительства хозяйственным способом.

Кроме почтовой, существует месячная телеграфная отчетность, в которой по установленным шифрам представляются важнейшие данные о выполнении планов капитального строительства.

§ 3. СДАЧА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ЗАКОНЧЕННЫХ СТРОИТЕЛЬСТВОМ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ

Законченные строительством гидромелиоративные системы и сооружения подлежат сдаче в эксплуатацию после освидетельствования выполненных работ специальными комиссиями, назначаемыми Советами Министров союзных республик или руководителями республиканских министерств и ведомств, в зависимости от подчиненности строительства; для приемки особо крупных строек комиссия назначается Советом Министров СССР.

В состав приемочных комиссий входят представители: от организации, назначившей приемку, финансирующего банка, местного Совета депутатов трудящихся, дирекции строящегося предприятия, строительной организации и эксплуатационной организации, принимающей мелиоративную систему или сооружение в эксплуатацию.

Задача приемочных комиссий заключается в проверке качества выполненных работ и соответствия их утвержденному проекту.

Сдача в эксплуатацию может производиться по окончании всех работ или по частям—законченным пусковым комплексам, позволяющим эксплуатировать их независимо от окончания всего объема строительства.

Перед предъявлением законченных работ приемочной комиссии строительство организует пробную эксплуатацию в целях проверки под полной нагрузкой всех построенных каналов и сооружений и своевременного устранения обнаруженных дефектов в результате недоброкачественного проектирования или строительства. Регулирующие и берегоукрепительные сооружения и дамбы обвалования проверяются в период прохождения паводка, вновь построенные оросительные системы—в течение всего периода проведения первого полива и т. д.;

Строительная организация представляет приемочной комиссии:

а) генеральный план мелиоративной системы (или части ее), с нанесением границ землепользования, каналов, сооружений, гидрометрических постов и смотровых колодцев по наблюдению за уровнем грунтовых вод, эксплуатационных знаков, телефонной и дорожной сети, гражданских и производственных зданий и сооружений и др.;

б) утвержденный проект со сметными документами, а также документы об утверждении допущенных отступлений от проекта и сметы в процессе строительства;

в) продольные исполнительные профили каналов с типовыми поперечниками и поперечниками в характерных местах;

г) ведомости выполненных земляных работ по каналам;

д) попикетные ведомости выполненных креплений и облицовок земляного русла каналов;

е) попикетные ведомости насыпей и выемок каналов, требующих особого наблюдения при эксплуатации;

ж) ведомости гидрометрических постов и смотровых колодцев;

з) исполнительные чертежи и планы расположения всех индивидуаль-

ных гидротехнических сооружений, а также чертежи типовых сооружений с приложением документов об их привязке;

и) документы по отводу земель под сооружения и под полосы отчуждения вдоль каналов;

к) ведомость всех выполненных работ;

л) справку о фактических затратах на строительство и сравнение этих затрат с утвержденной сметой;

м) акты освидетельствования оснований и скрытых частей сооружений;

н) документы контрольных испытаний грунтов насыпей плотин и каналов, качества бетона, строительных материалов, а также законченных сооружений и их частей (затворов, подъемных механизмов и др.);

о) отчет о пробной эксплуатации мелиоративной системы или сооружения;

п) ведомости построенных дорог и дорожных сооружений;

р) схемы устройства связи и сигнализации и ведомости оборудования пунктов связи и сигнализации приборами и аппаратами;

с) генеральные планы эксплуатационных усадеб, производственных баз, ведомости гражданских зданий и описи инвентаря и оборудования.

Комиссия проверяет каналы, сооружения и прочие устройства в натуре путем выборочных замеров и сличения полученных результатов с проектными данными. Кроме того, крупные каналы и гидротехнические сооружения, насосные станции, сооружения связи, сигнализации проверяются пробным испытанием под нагрузкой.

Результаты проверки построенной мелиоративной системы или сооружения комиссия заносит в акт, с указанием о возможности передачи системы (сооружения) в эксплуатацию. При обнаружении недоделок, препятствующих нормальной эксплуатации или дефектов, а также необходимости выполнения дополнительных работ, не предусмотренных проектом, комиссия устанавливает объем, стоимость и сроки их выполнения.

На основе акта приемочной комиссии издается приказ по организации, назначившей приемку, о передаче построенных объектов в эксплуатацию.

После приемки строительная организация передает управлению мелиоративной системы перечисленные выше документы, финансово-технический отчет по строительству, инвентаризационные ведомости на сдаваемые в эксплуатацию каналы, сооружения и устройства, а также паспорта на каждое сооружение.

Приемка зданий и сооружений жилищно-гражданского назначения, возводимых для работников системы водного хозяйства в городах и районных населенных пунктах, производится комиссиями, назначаемыми исполкомами городских (районных) Советов депутатов трудящихся.

Глава XXXV

ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА И ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ

§ 1. ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА

Одна из основных задач организации строительства состоит в максимальном повышении производительности труда и обеспечении высококачественного выполнения работ в назначенные сроки.

Основным методом повышения производительности труда является социалистическое соревнование рабочих и служащих.

Одной из форм социалистической организации труда являются хозрасчетные бригады, добивающиеся не только высокой производительности труда, но и снижения стоимости работ путем экономии материалов, энергии и пр., а также бригады отличного качества, выполняющие все работы с отличной оценкой.

Выдающихся успехов добиваются на стройках бригады коммунистического труда. Они являются подлинными новаторами производства, мастерами своего дела, показывают пример коммунистического отношения к труду.

Каждый вид строительных работ (земляных, бетонных и др.) состоит из ряда производственных процессов, в результате выполнения которых создается то или иное инженерное сооружение или часть его.

Рабочей операцией называют организационно неделимый, самый мелкий и однородный, с технологической точки зрения, строительный процесс. Характерным для рабочей операции является постоянный состав рабочих, несменяемость орудий производства и материалов; например, заготовка арматуры состоит из следующих рабочих операций: выпрямления арматуры, очистки ее от ржавчины, сварки, резки, гнутья, транспортировки. Рабочая операция делится на рабочие приемы, а каждый прием состоит из рабочих движений.

Рабочая операция называется индивидуальной, если она выполняется одним рабочим, или звеньевой, если она выполняется согласованными действиями нескольких рабочих. Рабочие операции могут быть ручными и механизированными; они состоят из рабочих приемов и элементов работы машин.

Рабочим процессом называется совокупность технологически и организационно связанных рабочих операций; рабочие процессы могут быть индивидуальными и звеньевыми, ручными и механизированными (полностью или частично).

Комплексным рабочим процессом называется совокупность одновременно протекающих рабочих процессов, организационно взаимосвязанных друг с другом, например разработка грунта экскаватором с погрузкой на транспортные приборы, отвозкой и разгрузкой грунта.

Рабочим местом строительного процесса называется пространство, в пределах которого расположены и перемещаются участвующие в этом процессе строительные машины, транспортные приборы, рабочие, материалы и выпускаемая продукция. С рабочим местом тесно связаны понятия делянки и захватки. Делянкой называется участок, выделенный отдельному рабочему или звену, а захваткой—рабочий участок, выделяемый бригаде.

Строительные рабочие разделяются по профессиям, а внутри их по квалификации на разряды по единой семиразрядной тарифной сетке. Определение разряда рабочего производится по тарифно-квалификационному справочнику, указывающему работу, которую должен уметь выполнять рабочий, знания, которыми он должен обладать, и обычные условия труда (физическую тяжесть выполняемой работы и т. д.); справочник предусматривает размер оплаты сдельщиков и повременщиков строителей и металлистов.

Правильная организация труда в условиях социалистического производства основана на внедрении в производство наиболее рациональных, передовых методов и приемов работы, наиболее совершенных инструментов и приспособлений, на возможно более полной комплексной механизации строительных процессов с обоснованным выбором типов строительных машин и транспортных приборов и надлежащим их укомплектованием согласно технологической схеме процесса.

На базе изучения и внедрения передового опыта новаторов и достижений науки на отдельные работы должны составляться технологические карты.

С целью повышения квалификации рабочих и младшего технического персонала строительства следует издавать памятки для бригадиров, механиков и т. д. по производству различных работ с обобщением передовых, наиболее рациональных методов производства и организации работ.

Разделение труда и комплектование рабочих звеньев (бригад) должно основываться на правильном использовании квалифицированных рабочих,

с тем чтобы они не затрачивали времени на выполнение операций, могущих быть выполненными рабочими меньшей квалификации. Вместе с тем при комплектовании звена должно быть обращено внимание на полную и равномерную загрузку всех рабочих. Число рабочих в звене должно быть минимальным (от 6 до 8). Звеньевая организация работ оказывается наиболее рациональной. Из отдельных звеньев организуются бригады.

На стройках получили широкое применение комплексные бригады, состоящие из рабочих разных профессий, труд которых оплачивается в зависимости от выработки. Звенья комплексной бригады выполняют взаимно зависящие друг от друга части комплексного строительного процесса и стремятся свести к минимуму потери времени, обычно возникающие на стыке различных элементов процесса. Так, например, работу экскаватора на транспорт следует рассматривать как комплексный процесс, состоящий из разработки, погрузки, отвозки и разгрузки грунта.

Производительность экскаватора зависит от организации всех указанных работ. Поэтому организация комплексной бригады из экскаваторщиков, транспортников, дорожников и разгрузчиков ведет к значительному повышению производительности экскаваторного комплекса, а следовательно, к общему повышению производительности труда.

Наилучшее использование рабочих в бригаде достигается при укомплектовании ее рабочими, владеющими смежными профессиями.

Применение комплексных бригад особенно рационально при поточной организации труда, когда подлежащие выполнению работы разбивают на ряд отдельных участков (захваток) таким образом, что объемы основных видов работ на каждом участке были одинаковы по трудоемкости и выполнялись бригадами или звеньями постоянного состава. Эти бригады переходят с одного участка на другой и на каждом участке выполняют одинаковую работу. Например, при укладке водопровода или канализации комплексная бригада будет состоять из звеньев по отрывке траншей, укладке труб, устройству смотровых колодцев, опрессованию труб и обратной засыпке.

Кроме комплексных бригад, хорошие результаты показывают специализированные бригады, объединяющие рабочих одной специальности и подсобных рабочих, включаемых в помощь квалифицированным рабочим. Состав бригад определяется расчетом, учитывающим объемы и сроки работы и производственные нормы, а также ожидаемое перевыполнение производственных норм. Число рабочих в специализированной бригаде—не более 15—20, а в комплексной 35—40.

Во главе бригады стоит бригадир из числа передовиков ведущей специальности, непосредственно руководящий работой бригады и входящих в нее звеньев. Бригадир не освобождается от работы в своем звене; он подчиняется мастеру и совместно с ним участвует в ежедневном обмере выполненных работ, в разработке распорядка работы на следующий день.

Организация заработной платы. Основными видами оплаты труда являются: прямая сдельная, прогрессивно-сдельная, аккордная и повременная.

При прямой сдельной оплате каждая единица доброкачественно выполненной продукции оплачивается по одной и той же расценке вне зависимости от количества выполненной работы и затраченного времени.

При прогрессивно-сдельной системе оплаты часть продукции, в пределах установленной нормы выработки, оплачивается как и при сдельной работе, а часть продукции отличного и хорошего качества, выполненная сверх нормы, оплачивается по повышенной расценке, прогрессивно возрастающей по мере увеличения процента выработки. Так, например, при перевыполнении норм до 20% расценки за переработанную часть продукции увеличиваются на 50%, а при перевыполнении норм свыше 20% расценки на переработанную часть увеличиваются на 100%. Таким образом, при прогрессивно-сдельной системе учитывается не только объем выработанной продукции, но и затраченное на нее время.

Аккордная оплата является разновидностью сдельной; она отличается от нее тем, что оплата производится не по каждому отдельному виду выполненных работ, как при обычной сдельщине, а за конечную продукцию, получаемую в результате проведения ряда взаимно связанных работ.

Аккордная оплата может соединяться с прогрессивно-сдельной; в этом случае прогрессивные надбавки выплачиваются за сокращение срока выполнения производственного задания. При аккордно-прогрессивно-сдельной оплате у рабочих создается наибольшая материальная заинтересованность в повышении производительности труда; эта форма оплаты является наиболее эффективной и в настоящее время широко распространяется.

Повременная оплата предусматривает оплату труда не по продукции, а за отработанное время, согласно квалификации рабочего. Повременная система применяется для оплаты инженерно-технических работников, служащих, а также некоторых категорий рабочих.

Распределение заработка между членами звена или бригады, работающими по наряду, производится в соответствии с фактическим временем, затраченным каждым рабочим, и с установленным для него разрядом. За руководство комплексной или специализированной бригадой бригадир получает дополнительную оплату.

§ 2. ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ

Важнейшим показателем производительности труда является затрата времени на выработку единицы продукции. Чем лучше организовано производство, тем меньше рабочего времени затрачивается на единицу продукции. Всякое обстоятельство, влияющее на уменьшение или увеличение затраты рабочего времени на единицу продукции, называется фактором, а совокупность значений факторов, определяющая данный строительный процесс, называется характеристикой процесса. Характеристика правильно организованного и осуществляемого наилучшими методами строительного процесса называется нормалью.

Нормали должны содержать полный перечень всех рабочих операций, входящих в состав производственной нормы: указания о необходимом количестве рабочих по профессиям и разрядам, о их расстановке, видах применяемого оборудования, организации рабочего места, приемах выполнения работ, требованиях к качеству продукции.

Среднепрогрессивная нормаль, отражающая условия нормальной организации труда и производства, является основой проектирования среднепрогрессивной нормы.

В отличие от нее прогрессивная нормаль представляет собой характеристику отлично организованного процесса, выполняемого с применением наиболее эффективных методов труда, учитывающих опыт работы лучших передовиков производства.

Нормой времени называется количество времени, которое необходимо затратить рабочему соответствующей квалификации, работающему в условиях правильной организации труда, для выполнения единицы доброкачественной продукции.

Нормой времени строительных машин называется количество времени, которое необходимо затратить на единицу доброкачественной продукции той или иной машине, работающей в условиях рационального ее использования, правильной организации работ и обслуживаемой рабочими соответствующей квалификации.

В состав норм входит только затрата времени на работу; потери времени в норму не включаются. Нормы времени выражаются в человеко-часах или машино-часах на единицу продукции. При звеньевой работе норма времени выражает суммарную затрату рабочего времени всех входящих в состав звена рабочих.

Необходимые затраты рабочего времени состоят из времени полезной работы, отдыха и неустранимых перерывов. К полезной работе относятся подготовительно-заключительные, основные и вспомогательные работы.

Подготовительно-заключительные работы выполняются в начале и конце каждой смены (приемка-сдача машин от одной смены другой, смазка, мелкий профилактический ремонт); к основной работе относятся операции, непосредственно входящие в состав строительного процесса. Вспомогательной работой называются операции, обеспечивающие бесперебойное выполнение основного строительного процесса.

Нормой выработки называется количество доброкачественной продукции, которое должны выработать рабочий или строительная машина за единицу времени (смену, час) при правильной организации производства. Нормы выработки обратно пропорциональны нормам времени.

Определение норм выработки машин непрерывного действия за 1 час чистой работы, т. е. без учета простоев, производится путем хронометражных наблюдений, а для цикличных машин—перемножением числа циклов, выполняемых за 1 час чистой работы, на количество вырабатываемой машиной продукции за 1 цикл.

Определяется также минимальное количество рабочих, обеспечивающее правильное обслуживание машины, состав, сложность и продолжительность всех операций, которые должны выполнять рабочие, их профессии и разряды для каждой операции.

Определение сменной нормы производительности машины производится умножением числа рабочих часов в смене (8 часов) на норму производительности за 1 час чистой работы и на коэффициент использования машины во времени. Величину этого коэффициента устанавливают на основе принятых условий работы путем определения допускаемых величин затрат времени на подготовку машины к пуску, на неизбежные перерывы в работе в течение смены и на работы по обслуживанию машины (смазка, чистка и т. п.).

Нормы времени машины на единицу продукции получаются делением числа рабочих часов в смену на сменную производительность машины. Норма времени на единицу продукции для рабочих, обслуживающих машину, определяется умножением нормы времени машины на количество рабочих в звене.

Производственные (оперативные) нормы применяют на строительном производстве при подсчете сдельных расценок, составлении нарядов, планировании и т. д. Действующие на строительстве «Единые нормы и расценки на строительные и монтажные работы» (ЕН и Р), Сборник 35-В «Нормы и расценки на земляные и культуртехнические работы в системе Министерства сельского хозяйства СССР» представляют собой производственные нормы.

Основными задачами нормирования строительных процессов являются детальное изучение затрат времени рабочих и машин на выработку единицы продукции как по всему процессу в целом, так и по отдельным его элементам, исследование влияния тех или иных факторов на величину этих затрат, изучение причин потерь времени и разработка мер по их устранению. Рабочий процесс изучается путем нормативных наблюдений. Применяются три рода наблюдений: хронометраж, фотоучет и фотографирование рабочего дня; результаты наблюдений заносятся на бланки установленной формы.

Перед тем как приступить к нормативным наблюдениям, строительный процесс разбивается на элементы и разрабатывается номенклатура элементов. При проектировании норм строительные процессы разбивают до рабочих операций, а при изучении методов работы новаторов—до рабочих движений.

При разбивке строительных процессов на элементы руководствуются фиксажными точками, характеризующими границу между отдельными элементами. Например, начало копания экскаватором характеризуется прикосновением зубьев ковша к грунту и началом подъема ковша.

При изучении работы строительных машин составляется раздельная номенклатура элементов работы машины и обслуживающих ее рабочих.

Хронометраж применяется при изучении элементов затрат полезного рабочего времени при циклических, т. е. периодически повторяющихся, процессах. Учет затрачиваемого времени секундомером выполняется с точностью до 0,1—0,2 секунды, а при длительности элемента более 5 секунд—с точностью до 1 секунды.

Обычно применяется выборочный хронометраж, при котором стрелку секундомера пускают в ход при начале элемента работы и останавливают при окончании. Затем на бланке делается запись и начинается наблюдение длительности следующего очередного элемента. Результаты замеров длительности одного и того же элемента всегда более или менее колеблются.

Фотоучет исследует все виды затрат рабочего времени; при нем получают все данные для анализа и проектирования норм, благодаря чему его широко применяют в строительной практике.

Замеры времени производят обыкновенными часами с секундной стрелкой; наблюдения длятся от 4 до 8 часов; повторность наблюдений—5—6 раз. Запись времени ведут на специальных бланках, цифровым, графическим или смешанным способом.

Цифровой способ записи применяют при одновременном наблюдении за работой 2—3 рабочих и необходимости большой точности наблюдений.

Графическим способом записи пользуются при одновременном наблюдении за работой не более чем трех рабочих и допустимой точности записи времени 0,5—2 минуты. При этом элемент работы каждого рабочего фиксируют длиной проводимой черточки.

Смешанный способ применяют при групповом учете работы, когда наблюдение проводится одновременно более чем за тремя рабочими. Продолжительность каждой операции отмечают длиной проводимой черточки, а число рабочих, занятых в операции, надписывается цифрой. Этот способ записи особенно подходит при обследовании работы комплексных бригад.

Фотография рабочего дня фиксирует главным образом все виды потерь рабочего времени и причины их, затраты времени на отдых и на неустранимые перерывы в работе.

Фотография рабочего дня позволяет разработать мероприятия по ликвидации потерь рабочего времени.

Перед нормативными наблюдениями необходимо детально изучить рабочий процесс в натуре, ознакомиться с техническими условиями работ, правилами охраны труда и техники безопасности, нормами на аналогичные работы, методами труда, применяемыми новаторами производства. Результаты предварительного изучения работы заносят на карточку.

В качестве объекта изучения выбирают работы, выполняемые теми, кто хорошо владеет техникой своего дела и имеет требуемую по характеру работы квалификацию.

Так как характеристики отдельных наблюдений могут отличаться по затрате времени на единицу продукции на 30—40%, то необходимо, чтобы наблюдения охватывали 3—6 полусмен; при изучении особо сложных и массовых строительных процессов длительность наблюдений увеличивается в $1^1/_2$—2 раза.

После окончания наблюдений составляют нормаль строительного процесса, проверяемую затем на производстве при обязательном участии нормировщика; только после этого предлагаемые нормы внедряются в производство.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3
§ 1. Индустриализация строительства 4
§ 2. Характерные коэффициенты механизации работ 6

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ЗЕМЛЯНЫЕ РАБОТЫ

Глава I. **Строительные свойства грунтов** 8

§ 1. Классификация грунтов по трудности и способу разработки 8
§ 2. Влияние влажности грунтов на их строительные свойства 9
§ 3. Гидродинамическое давление и его влияние на производство работ 9

Глава II. **Транспортировка грунтов и пути ее рационализации** 10

§ 1. Условия успешной работы и виды землевозного транспорта 10
§ 2. Условия применения автомобильного транспорта 11
§ 3. Землевозные автодороги на сторительстве 12
§ 4. Автосамосвалы 17
§ 5. Работа автосамосвалов с прицепами 18
§ 6. Некоторые мероприятия, повышающие производительность автотранспорта . 20
§ 7. Тяговые расчеты 21
§ 8. Меры против буксования автомашин 23
§ 9. Производительность автосамосвалов, обслуживающих землеройные машины 23
§ 10. Троллейвозный транспорт 24
§ 11. Условия применения железнодорожного транспорта 24
§ 12. Тяговые приборы. Платформы 26
§ 13. Тяговые расчеты 28
§ 14. Тракторные саморазгружающиеся прицепы 30
§ 15. Тракторы и их применение на земляных работах 32
§ 16. Транспорт автотягачами с большегрузными прицепами 32
§ 17. Тяговые расчёты 33
§ 18. Целесообразность устройства хороших дорог для тракторов 34
§ 19. Достоинства и недостатки ленточных транспортеров 34
§ 20. Составные части ленточных транспортеров 35
§ 21. Транспортерные ленты 36
§ 22. Рабочие и холостые ролики 40
§ 23. Натяжные, приводные, загрузочные и разгрузочные устройства 41
§ 24. Звеньевые и передвижные транспортеры 44
§ 25. Очистка ленты и барабанов 45
§ 26 Расход энергии 46
§ 27. Производительность ленточных транспортеров 47
§ 28. Износ ленты и срок ее службы 48
§ 29. Сравнение различных видов землевозного транспорта 48

Глава III. **Вспомогательные работы** 49

§ 1. Валка и рубка леса 49
§ 2. Кусторез 50
§ 3. Корчевка пней 51
§ 4. Рыхление грунтов 52
§ 5. Заглушка ключей 53

Глава IV. **Скреперы** 54

§ 1. Общие сведения 54
§ 2. Скрепер Д-222 55
§ 3. Скрепер Д-374 56
§ 4. Большегрузные скреперы Д-213, Д-188, Д-189 56
§ 5. Расчетные формулы 59
§ 6. Схема движения скреперов 60
§ 7. Тяговые расчеты 64
§ 8. Мероприятия по поддержанию путей движения скрепера в хорошем состоянии 66
§ 9. Определение рациональной длины набора грунта и длины резерва 67
§ 10. Мероприятия по уменьшению $K_{рез}$ и увеличению $h_{стр}$ 69
§ 11. Различные этапы работы скреперов при поперечной разработке; расчетные формулы 72
§ 12. Приведенная длина кольца $L_{кол.\,прив}$ 73
§ 13. Переключения. Возможности сокращения времени цикла за счет сокращения числа переключений 73
§ 14. Разгрузка. Выводы 74
§ 15. Форма кольца 76
§ 16. Оптимальное расположение въездов и съездов при поперечной отвозке . . . 77
§ 17. Общие выводы по рационализации работ при поперечной возке 77
§ 18. Бункерно-транспортерная схема 79
§ 19. Мероприятия по повышению коэффициента $K_{вр}$ 80
§ 20. Мероприятия по повышению коэффициента наполнения ковша грунтом $K_{нап}$ 81
§ 21. Прочие мероприятия по рационализации работ 83
§ 22. Современные зарубежные типы скреперов 84
§ 23. Применение скреперов на гидромелиоративных работах 86

Глава V. **Ножевые грейдеры и их работа** 86

§ 1. Общие сведения, типы грейдеров 86
§ 2. Тяжелый грейдер Д-20Б и автогрейдеры 87
§ 3. Производство работ 92
§ 4. Производительность грейдера и стоимость работ 95

Глава VI. **Грейдер-элеваторные работы и их организация. Землеройные струги** . . 96

§ 1. Устройство грейдер-элеваторов 96
§ 2. Землеройный струг Д-264 с отвальным мостом 101
§ 3. Общие сведения о применении грейдер-элеваторов 104
§ 4. Производство работ. Пути рационализации работ 105
§ 5. Схемы организации работ 107
§ 6. Производительность грейдер-элеваторов 110
§ 7. Применение грейдер-элеваторов на гидромелиоративных работах 111

Глава VII. **Канавокопатели, пахотелатели, планировщики и организация их работ** 112

§ 1. Область применения 112
§ 2. Организация работ 119
§ 3. Производительность канавокопателя 120

Глава VIII. **Бульдозеры и организация их работы** 121

§ 1. Назначение бульдозеров 121
§ 2. Типы бульдозеров 122
§ 3. Потери грунта в пути и мероприятия по их уменьшению 124
§ 4. Схема организации работ, выполняемых бульдозерами 126
§ 5. Работа бульдозеров с поворотами и челночная схема 132
§ 6. Производительность бульдозера 133
§ 7. Мероприятия по повышению производительности бульдозеров 134

Глава IX. **Экскаваторные работы и пути их рационализации** 134

§ 1. Типы экскаваторов 134
§ 2. Механические лопаты 141
§ 3. Разработка грунта механической лопатой 146
§ 4. Драглайны и их работа 149
§ 5. Сменное захватно-челюстное оборудование (грейфер) и его работа 152
§ 6. Сменное оборудование—обратная лопата 154
§ 7. Многоковшовые экскаваторы 156
§ 8. Цикл работы одноковшовых экскаваторов 161
§ 9. Забои механических лопат 165
§ 10. Формулы для построения забоев механических лопат 167
§ 11. Построение забоев механических лопат 168
§ 12. Разбивка выемок на забои при сквозных проходках механических лопат с погрузкой на транспортные приборы, находящиеся в соседнем забое 169

§ 13. Разбивка выемок на забои при сквозных проходах механических лопат с погрузкой на транспортные приборы, располагаемые в разрабатываемом забое . . . 178
§ 14. Разработка котлованов механическими лопатами . . . 180
§ 15. Недоборы, остающиеся после работы механической лопаты, и их удаление . . . 181
§ 16. Осушение забоев механических лопат . . . 182
§ 17. Построение забоев драглайном . . . 182
§ 18. Организация работ при разработке каналов драглайном . . . 185
§ 19. Расположение путей в забое при экскаваторной разработке . . . 188
§ 20. Устройство транспортных путей на разгрузке . . . 191
§ 21. Разравнивание грунтов после их разгрузки . . . 195
§ 22. Основные положения транспортных расчетов при экскаваторных работах . . . 195
§ 23. Расчет количества транспортных приборов и времени погрузки . . . 197
§ 24. Производительность экскаваторов и стоимость экскавации . . . 201
§ 25. Основные направления рационализации . . . 202
§ 26. Использование экскаваторов во времени. Простои . . . 202
§ 27. Простои экскаваторов по технологическим причинам . . . 203
§ 28. Простои экскаваторов при смене транспортных приборов; производственные простои . . . 204
§ 29. Возможности повышения использования экскаваторов во времени . . . 207
§ 30. Мероприятия по снижению времени цикла экскаватора . . . 209
§ 31. Повышение наполнения ковша . . . 213
§ 32. Сменные ковши экскаваторов . . . 213
§ 33. Технологическая комплектность . . . 214
§ 34. Двухточечная разгрузка ковша экскаватора . . . 218
§ 35. Бестранспортная работа экскаваторов . . . 217
§ 36. Годовой режим работы экскаваторов и его уплотнение . . . 218
§ 37. Рациональная организация экскаваторных работ . . . 218
§ 38. Применение экскаваторов на гидромелиоративных работах . . . 222

Глава X. **Гидромеханизированные работы и их организация** . . . 223

§ 1. Развитие гидромеханизации в СССР . . . 223
§ 2. Область применения гидромеханизации . . . 223
§ 3. Консистенция пульпы . . . 225
§ 4. Состав и характерные особенности гидромеханизированных работ . . . 227
§ 5. Получение напорной воды для размыва грунтов гидромониторами . . . 228
§ 6. Размыв грунта гидромониторами . . . 229
§ 7. Подводная разработка грунта . . . 237
§ 8. Транспорт пульпы от забоя к приемному кольцу землесоса . . . 239
§ 9. Землесосы . . . 240
§ 10. Землесосные установки . . . 242
§ 11. Гидротранспорт пульпы . . . 253
§ 12. Выбор оптимального режима земснаряда. Установление целесообразности перекачек . . . 260
§ 13. Мероприятия по повышению производительности землесоса по грунту . . . 263
§ 14. Намыв земляных плотин . . . 269
§ 15. Сброс осветленной пульпы из прудка. Водооборот . . . 282
§ 16. Организация гидромеханизированных работ в зимнее время . . . 283
§ 17. Работы с частичным применением гидромеханизации . . . 286
§ 18. Особые работы гидромеханизации . . . 286
§ 19. Контрольно-исследовательские работы при постройке намывных плотин . . . 289
§ 20. Разработка выемок . . . 289
§ 21. Применение гидромеханизации на гидромелиоративных работах . . . 290
§ 22. Технико-экономические показатели . . . 290

Глава XI. **Взрывные работы** . . . 292

§ 1. Основные сведения о взрыве и взрывчатых веществах . . . 292
§ 2. Способы и средства взрывания . . . 298
§ 3. Заряды и их размещение . . . 301
§ 4. Действие взрыва на окружающую среду . . . 303
§ 5. Расчеты зарядов . . . 306
§ 6. Результаты взрывов . . . 307
§ 7. Массовые взрывы . . . 309
§ 8. Расчет и расположение зарядов при взрывах на двусторонний выброс . . . 310
§ 9. Строительство земляных перемычек и плотин массовым направленным взрывом . . . 311
§ 10. Строительство каналов взрывами . . . 313
§ 11. Взрывы на выброс в торфе для устройства каналов . . . 314
§ 12. Взрывные работы на выброс при устройстве дрен, каналов и коллекторов в оплывающих грунтах . . . 314
§ 13. Борьба с фильтрацией воды из каналов и водоемов взрывным способом . . . 315
§ 14. Рыхление скальных пород под водой . . . 316

§ 15. Увеличение дебита скважин котловыми взрывами 317
§ 16. Шнуры 318
§ 17. Оборудование зарядных камер и подготовка ВВ 318
§ 18. Взрывы на обрушение 319
§ 19. Короткозамедленное взрывание 320
§ 20. Основные правила ведения взрывных работ 321
§ 21. Применение взрывных работ в гидромелиоративном и гидротехническом строительстве 323

Глава XII. **Возведение качественных насыпей** 325

§ 1. Основные требования 325
§ 2. Грунты для возведения качественных насыпей 325
§ 3. Основные предпосылки уплотнения качественных насыпей 326
§ 4. Оптимальная влажность 328
§ 5. Виды уплотняющих машин 332
§ 6. Нормы уплотнения насыпей 334
§ 7. Уплотнение грунтов укаткой 336
§ 8. Конструкции катков 340
§ 9. Уплотнение грунтов трамбованием 343
§ 10. Эффект уплотнения различными уплотняющими машинами 346
§ 11. Уплотнение вибрационными машинами 348
§ 12. Уплотнение тракторами, попутным проездом; уплотнение сухого грунта с последующей замочкой 349
§ 13. Выбор грунтоуплотняющих машин 350
§ 14. Разработка карьеров для возведения качественных насыпей 351
§ 15. Контроль над уплотнением грунтов 351
§ 16. Основные правила производства работ по возведению укатанных земляных плотин 354
§ 17. Возведение дренажной призмы и обратного фильтра в русловых плотинах 357
§ 18. Возведение каменнонабросных плотин без противофильтрационных устройств 358
§ 19. Усадка и осадка насыпей 359

Глава XIII. **Очистка постоянных оросительных и осушительных каналов** 360

§ 1. Значение очистки 360
§ 2. Способы очистки 361

Глава XIV. **Комплексная механизация земляных работ** 362

§ 1. Основные требования 362
§ 2. Комплекты машин для постройки оросительных каналов 363
§ 3. Планировка поливных участков 368
§ 4. Машины для строительства дрен 373

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ РАБОТЫ

Глава XV. **Общие сведения** 379
§ 1. Бетонные сооружения в гидромелиоративном строительстве 379
§ 2. Гидротехнический бетон 380
§ 3. Составные части комплекса бетонных и железобетонных работ 382

Глава XVI. **Заготовка и облагораживание заполнителей** 383

§ 1. Требование к заполнителям, фракционирование 383
§ 2. Камнедробильные машины 385
§ 3. Загрузка камня в дробилки 387
§ 4. Сортировка и промывка гравия и щебня 388
§ 5. Пескомойки 391
§ 6. Камнедробильно- и промывочно-сортировочные заводы 392
§ 7. Склады заполнителей на строительной площадке 394
§ 8. Склады цемента 396
§ 9. Бардоприсадочные установки 398

Глава XVII. **Приготовление бетона** 398

§ 1. Основные требования 398
§ 2. Бетономешалки 399
§ 3. Время перемешивания 402
§ 4. Режим работы бетономешалок 403
§ 5. Дозаторы компонентов бетона 404
§ 6. Бетонные заводы 405
§ 7. Бетонные заводы непрерывного действия 409

Глава XVIII. **Транспортировка бетонной смеси** 412

§ 1. Общие указания 412
§ 2. Транспортировка бетонной смеси автомобилями 412
§ 3. Транспортировка бетонной смеси ленточными транспортерами 415
§ 4. Подача бетонной смеси в блоки портальными кранами и виброхоботами с бетоновозных эстакад 420
§ 5. Краны для укладки бетонной смеси. Бадьи. Виброхоботы 421
§ 6. Подача бетонной смеси кабель-кранами 429
§ 7. Подача бетонной смеси бетононасосами 433
§ 8. Технико-экономические показатели транспортировки бетонной смеси 436

Глава XIX. **Укладка бетона в блоки** 437

§ 1. Разбивка сооружений на блоки 437
§ 2. Разравнивание и уплотнение бетона 439
§ 3. Контроль за укладкой бетона 444
§ 4. Уход за свежеуложенным бетоном в летнее время 444
§ 5. Сроки распалубки 445
§ 6. Исправление дефектов бетона. Торкретирование 445
§ 7. Подготовка блоков к бетонированию 447
§ 8. Освидетельствование блоков перед бетонированием и после распалубки . . 448
§ 9. Подводное бетонирование 449

Глава XX. **Производство бетонных работ в зимнее время** 450

§ 1. Общие положения 450
§ 2. Влияние отрицательных температур на условия твердения бетонной смеси; добавки, водоцементное отношение 451
§ 3. Подогрев воды и заполнителей; отопление бетонного завода и бетонного хозяйства 452
§ 4. Снижение потерь тепла в бетонной смеси при транспортировании 453
§ 5. Обеспечение тепловлажностных условий укладки и выдерживания бетона до распалубки 454
§ 6. Контроль температуры и сроки распалубки 458

Глава XXI. **Арматурные работы** 458

§ 1. Общие положения 458
§ 2. Материал для арматурных работ 459
§ 3. Рабочие процессы по изготовлению арматуры 460
§ 4. Разгрузка, сортировка и складирование арматуры 460
§ 5. Правка и резка арматуры 461
§ 6. Сварка арматуры 464
§ 7. Гнутье арматуры 469
§ 8. Арматурные конструкции и их изготовление 470

Глава XXII. **Опалубочные работы** 472

§ 1. Назначение и типы опалубки 472
§ 2. Разборно-щитовая и стационарная опалубка 473
§ 3. Ползучая опалубка 475
§ 4. Передвижная фанерная и металлическая опалубка 477
§ 5. Опалубочные мастерские 477
§ 6. Установка опалубки 478
§ 7. Опалубка из железобетонных плит-оболочек 478
§ 8. Новые типы опалубки Куйбышевгидростроя 482
§ 9. Щитовая вакуум-опалубка, влагопоглощающая и дренирующая опалубка 482

Глава XXIII. **Сборные гидротехнические сооружения на мелиоративной сети. Каналы-лотки. Бетонные одежды каналов** 485

§ 1. Общие положения 485
§ 2. Изготовление элементов (блоков) гидротехнических сооружений 485
§ 3. Приемка и перевозка элементов сборных конструкций 489
§ 4. Организация и производство работ по возведению гидротехнических сооружений сборной конструкции 490
§ 5. Каналы-лотки 493
§ 6. Бетонные и железобетонные одежды каналов 496

Глава XXIV. **Предварительно-напряженный железобетон в гидротехническом строительстве** 504

§ 1. Общие положения 504
§ 2. Создание напряженного состояния путем обжатия массивных гидротехнических сооружений 505
§ 3. Изготовление предварительно-напряженных элементов с помощью натяжных устройств 508

§ 4. Создание напряженного состояния в монолитных железобетонных конструкциях с помощью струнобетонных элементов 508

Глава XXV. **Цементация, битумизация, силикатизация** 510

§ 1. Цементация 510
§ 2. Битумизация 513
§ 3. Силикатизация 515

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ОТВОД ВОДЫ, ВОДООТВОД И ВОДОПОНИЖЕНИЕ

Глава XXVI. **Отвод воды во время постройки гидроузлов** 518

§ 1. Способы отвода воды 518
§ 2. Расчетный строительный расход 524

Глава XXVII. **Перемычки** 525

§ 1. Условия возведения и типы перемычек 525
§ 2. Земляные перемычки 526
§ 3. Перемычки из каменной наброски 528
§ 4. Сипайные и карабурные перемычки 529
§ 5. Шпунтовые перемычки 530
§ 6. Каркасно-шпунтовые перемычки 531
§ 7. Ряжевые перемычки 533
§ 8. Стальные ячеистые шпунтовые перемычки 537
§ 9. Переходные перемычки 537
§ 10. Разборка перемычек 538

Глава XXVIII. **Перекрытие русел рек** 539

§ 1. Способы перекрытия 539
§ 2. Перекрытие русел банкетным способом 539
§ 3. Начало перекрытия и необходимые подготовительные работы 541
§ 4. Устройство прорана 542
§ 5. Каркасная наброска при перекрытии рек 545
§ 6. Перекрытие русел рек пионерным способом 546
§ 7. Перекрытие прорана гидромеханизированным способом (безбанкетным) . . 547

Глава XXIX. **Пропуск строительных расходов во время и после перекрытия русел рек** 550

§ 1. Способы пропуска воды 550
§ 2. Метод «гребенки» 552
§ 3. Метод донных отверстий 553
§ 4. Пропуск строительных расходов через незаконченные гидростанции 554
§ 5. Пропуск строительных расходов через судоходные шлюзы 554

Глава XXX. **Водоотлив и водопонижение** 554

§ 1. Понятие о водоотливе и водопонижении 554
§ 2. Первичный водоотлив 555
§ 3. Способы водопонижения для осушения котлованов 558
§ 4. Водопонижение глубинными скважинами 560
§ 5. Фильтры 561
§ 6. Производство работ по установке глубинных скважин 565
§ 7. Передвижные водопонизительные установки ПВУ 569
§ 8. Эжекторные (глубокие) иглофильтры 570
§ 9. Легкие иглофильтровые установки ЛИУ 572
§ 10. Водопонизительные работы на гидростройках 573

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

СВАЙНО-ШПУНТОВЫЕ РАБОТЫ

Глава XXXI. **Механизация свайно-шпунтовых работ** 577

§ 1. Назначение и виды свай 577
§ 2. Способы погружения свай 578
§ 3. Паровоздушные молоты простого действия 579
§ 4. Паровоздушные молоты двойного действия 579
§ 5. Дизельные молоты 581
§ 6. Сравнение механизмов ударного действия 582
§ 7. Свайные вибропогружатели 583
§ 8. Свайные копры и краны 586
§ 9. Погружение стальных шпунтовых свай паровоздушными молотами двойного действия 587

§ 10. Вибропогружение стальных шпунтовых свай 589
§ 11. Комплексная механизация свайно-шпунтовых работ 591
§ 12. Опыт производства свайно-шпунтовых работ 592
§ 13. Погружение свай с подмывом грунта 593

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ

Глава XXXII. **Проект и смета строительства** 595

§ 1. Стадии проектирования 595
§ 2. Значение сметных документов в строительстве 597
§ 3. Структура сметных затрат 598
§ 4. Первичные сметные документы и нормативы для их составления 599
§ 5. Состав сметных документов 601
§ 6. Согласование, экспертиза и утверждение проектов и смет 606

Глава XXXIII. **Организация строительного производства** 606

§ 1. Состав проекта организации строительства 606
§ 2. Потребность в строительных кадрах, материалах, машинах и других ресурсах 610
§ 3. Производственная база строительства 615
§ 4. Организация управления строительством 620
§ 5. Проект производства работ 621

Глава XXXIV. **Финансирование строительства. Учет и отчетность** 622

§ 1. Вопросы финансирования 622
§ 2. Учет и отчетность 624
§ 3. Сдача в эксплуатацию законченных строительством гидромелиоративных систем и сооружений 627

Глава XXXV. **Организация труда и техническое нормирование** 628

§ 1. Организация труда 628
§ 2. Техническое нормирование 631

БИБЛИОТЕКА
№36262
ИЭП и Г. АН. УзССР

Знаменский Илья Иванович
ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕХАНИЗАЦИЯ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ РАБОТ

Редактор *Б. Я. Левинов.* Художник *Р. Б. Брагин*
Художественный редактор *О. К. Алексеева.* Технический редактор *М. М. Гуревич*
Корректор *А. В. Пригарина*

* * *

Сдано в набор 1/III 1960 г. Подписано к печати 31/V 1960 г. Т05923. Формат 70×108 1/16. Печ. л. 40 (54,8). Уч.-изд. л. 57,24 Изд. № 907. Тираж 4000 экз. Заказ № 140. Цена 15 р. 80 к.

* * *

Сельхозгиз, Москва, К-31, ул. Дзержинского, 1/19.

Московская типография № 5 Мосгорсовнархоза.
Москва, Трехпрудный пер., 9.