МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ им. В. Д. ЖУРИНА „САНИИРИ"

ТРУДЫ САНИИРИ

выпуск 131

Механизация водохозяйственных работ, автоматизация гидромелиоративных систем

ТАШКЕНТ—1972

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ им. В. Д. ЖУРИНА „САНИИРИ"

ТРУДЫ САНИИРИ

ВЫПУСК 131

Механизация водохозяйственных работ, автоматизация гидромелиоративных систем.

ТАШКЕНТ—1972

УДК 626

В сборнике приводятся предварительные материалы для разработки технических требований к грунтоуплотняющим и грунтозаборным машинам, исследуется возможность применения каналоочистительных и землеройных машин; приводится сравнительная оценка систем автоматизации и телеуправления в мелиорации и водном хозяйстве; дается эксплуатационная водноэнергетическая характеристика насосных станций.

Сборник предназначен для работников научных, водохозяйственных и проектных организаций, преподавателей и студентов вузов, специализирующихся в области гидротехники, механики и телемеханики.

Редакционная коллегия:

Ф. Н. Наджимов (отв. ред.), Р. А. Алимов, Х. А. Аскаров, К. И. Белоцерковский, Г. Г. Валентини, И. И. Горошков, А. А. Кадыров, С. И. Кеберле, Н. Т. Лактаев, А. М. Мухамедов, У. Ю. Пулатов (зам. отв. ред.), А. А. Рачинский (зам. отв. ред.), И. Б. Хамадов, Х. И. Якубов.

А.Н.МИРСАГАТОВ, Н.П.КАРПОВ, Г.В.БАТУРИН

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАКРЫТОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА ЩЕЛЕВЫМ ДРЕНОУКЛАДЧИКОМ ДЩ-301

В настоящее время вопросы механизации строительства закрытого горизонтального дренажа в неустойчивых грунтах орошаемой зоны решены крайне неудовлетворительно. Строительство в таких условиях ведется "полумеханизированным" способом, при котором лишь отрывка траншеи и обратная засыпка ее производятся механизированно, а все остальные операции процесса строительства ведутся вручную.

Отделом организации и механизации водохозяйственных работ САНИИРИ разработана технология механизированного строительства закрытого горизонтального дренажа из непрерывных по всей длине дрены пластмассовых труб с использованием комплекта машин, ведущей в котором является щелевой дреноукладчик ДЩ-301[1].

Предлагаемая технология была применена при строительстве закрытого горизонтального дренажа в совхозе № 26 им.А.Икрамова в Голодной степи на опытном участке площадью 8 га. Были запроектированы 8 дрен длиной 390 м каждая. Расстояния между ними приняты от 27 до 38 м.

Гладкие трубы диаметром 42 мм, с щелевой перфорацией, и гофрированные - диаметром 63 мм, с дырчатой перфорацией, укладывались с круговой обсыпкой однослойным песчаным фильтром толщиной 15 см. Ширина щели составляла 15 см.

Грунты на объекте строительства в основном легкие и средние и лишь местами тяжелые суглинки с прослойками глины. Влажность грунта по глубине до 4 м изменялась от 6,4 до 30,8%. Объемный вес грунта 1,26-1,67 г/см^3. Глубина уровня грунтовых вод 2,5÷4,1 м от поверхности земли.

---

1) См.статью "Щелевой дреноукладчик ДЩ-301 для строительства закрытого горизонтального дренажа в неустойчивых грунтах" в настоящем сборнике.

Ниже приведены содержание и последовательность операций технологического процесса (таблица).

№ № п.п.	Операции технологического процесса	Средства выполнения	Количество обслуживающего персонала
I.	Разбивка и нивелировка трассы дрены	Нивелир, мерная лента, рейка	2
2.	Планировка трассы дрены под заданный уклон	Скрепер Д-374	I
3.	Контроль качества планировки	Нивелир, рейка	
4.	Рытье щели		
5.	Укладка подстилающего слоя фильтра		
6.	Укладка дренажных труб	Щелевой дреноукладчик ДЩ-30I	2
7.	Засыпка труб фильтром		
8.	Заделка щели грунтовой массой		
9.	Засыпка "корыта" грунтом	Бульдозер Д-492	I
I0.	Подвозка и разгрузка фильтра в бункер дреноукладчика	Автосамосвал ЗИЛ-555	I
II.	Погрузка фильтра на автосамосвал	Тракторный погрузчик ПБ-35	I
I2.	Подвозка технической воды	Автоцистерна АВЦ-28	I
I3.	Строительство устья и смотрового колодца	-	I

Вначале по общепринятой технологии производились разбивка и нивелировка трассы дрены и планировка ее под заданный уклон с последующим контролем качества планировки. Затем дреноукладчиком ДЩ-30I непрерывно за один проход осуществлялись разработка щели, окончательная планировка ее дна, отсыпка подстилающего слоя фильтра, укладка пластмассовых дренажных труб, засыпка их фильтром и заделка щели разжиженным грунтом, вынутым из нее роющим рабочим органом. Для этого

дреноукладчик с заправленной дренажной трубой устанавливался в исходную позицию у устья будущей дрены. Роющий орган опускался в рабочее положение и по достижении его включали рабочий ход дреноукладчика. Щель отрывали согласно проектной длине трассы дрены (рис.I.). Затем вручную удаляли оставшуюся призму грунта I и на дно щели укладывали устьевую асбоцементную трубу длиной 2 м, в которую заделывался конец пластмассовой устьевой трубы. Обратная засыпка щели на этом участке производилась вручную с послойным уплотнением ручной трамбовкой.

После этого, включив рабочий орган и ход дреноукладчика, прокладывали устьевую часть дрены длиной 30 м. При этом учитывалось, что глубина щели в устьевой части дрены меньше на толщину подстилающего слоя фильтра, т.е. на 0,I5 м. Из-за отсутствия цельных труб, предусмотренных проектом для устьевой части, использовали ту же перфорированную пластмассовую трубу, обмотанную полиэтиленовой пленкой.

После прокладки устьевой части рабочий орган заглублялся на полную глубину, т.е. на 3 м, путем отворачивания упорных винтов (2) при работающем роющем органе, и производилась загрузка бункера фильтрующим материалом.

Подвозка фильтра и загрузка его в дреноукладчик производилась автосамосвалом ЗИЛ-555 с задней разгрузкой. Для лучшего направления фильтра в бункер и удобства загрузки самосвал оборудовался съемным удлинительным лотком. Бункер загружали при остановленном дреноукладчике.

Первоначальная принятая схема работы автосамосвалов - "центральный склад - дреноукладчик" себя не оправдала. Нередко она являлась причиной непроизводительных простоев дреноукладчика. Поэтому целесообразно применение схемы "приобъектный склад - дреноукладчик". Для этого необходимо организовать склад для отдельных групп дрен непосредственно на объекте строительства с таким расчетом, чтобы дальность возки не превышала I,0-I,5 км, обеспечив его погрузочным средством, как это делается при строительстве закрытого горизонтального дре-

ноукладчика типа Д-251, ДЩ-301. Для погрузки фильтра на автосамосвалы могут быть использованы тракторные погрузчики, например ПБ-35.

В процессе строительства дрены, освобождавшиеся от дренажной трубы катушки заменялись сменными заправленными. При этом появилась необходимость соединения концов дренажных труб, поскольку последние заводом выпускаются длиной 80-120 м, а длина опытной дрены была 390 м. Причем гладкие пластмассовые трубы соединялись раструбами, а гофрированные - хомутами. При раструбном соединении один конец трубы размягчался путем разогрева в песке или кипящей соленой воде при 110-120°С и свободно насаживался на конец холодной трубы на глубину 10-15 см. Отформованный раструб вместе со вставленной в него трубой быстро охлаждался холодной водой. При соединении хомутом кусок длиной 20-25 см из той же трубы разрезался по продольной оси, одевался по верху стыка труб и заматывался алюминиевой проволокой диаметром 2 мм.

Для лучшей разгрузки грунта с рабочих органов и образования грунтовой массы достаточной влажности для качественной обратной заделки щели в забой роющего органа непрерывно подавалась вода в количестве, зависящем от естественной влажности грунта.

Для подвозки технической воды на опытном участке использовались различные автоводовозы с емкостью от 2 до 11 м^3. Вода из емкости в забой роющего органа подавалась самотеком через гибкий шланг, оборудованный вентилем.

Из-за отсутствия заправочного насосного оборудования на автоводовозах, даже при наличии воды в коллекторе, ее возили из пос.Пахтакор (расстояние 15 км). Перебои в доставке воды снижали производительность дреноукладчика.

Заканчивая строительство дрены, за 4-5 м до конца ее, в процессе рабочего хода дреноукладчика одновременно производилось постоянное выглубление рабочего органа. В результате на протяжении этого участка получался плавный переход дренажной трубы из горизонтального положения в вертикальное. Дрена на этом участке строилась из труб без перфорации и фильтрую-

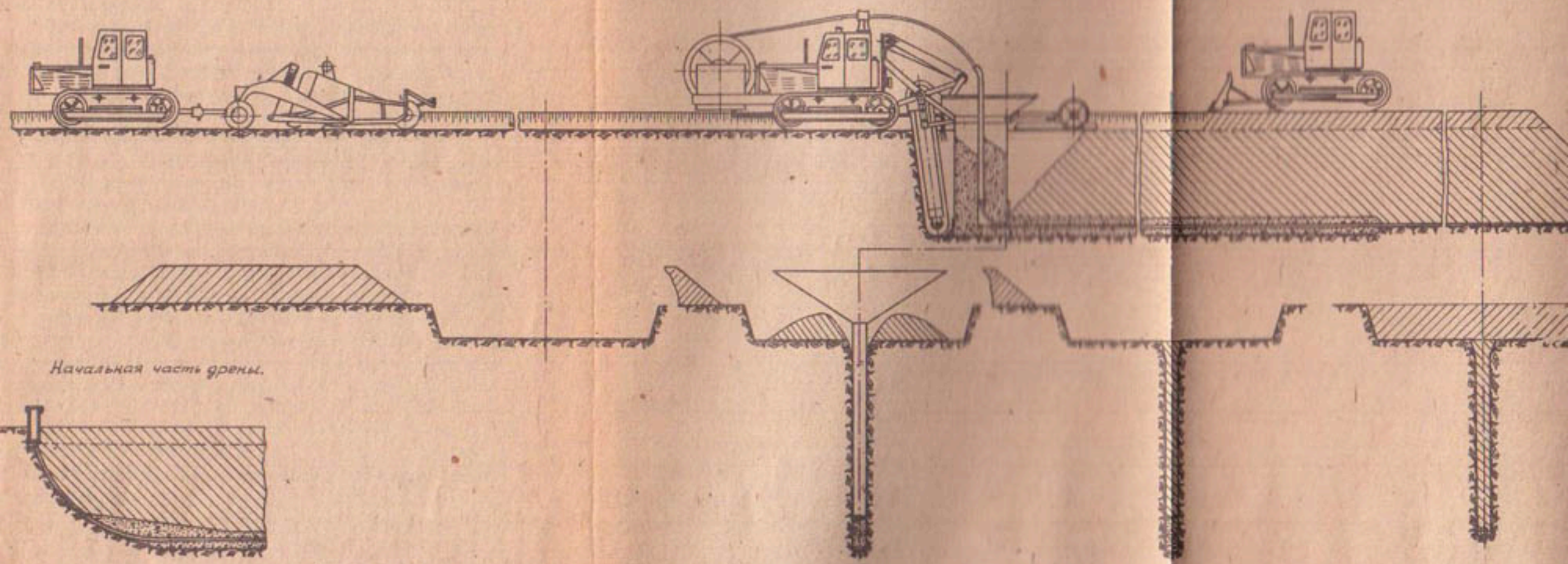


Рис.1. Схема работы дреноукладчика в устьевой части дрены.

щих обсыпок. В дальнейшем здесь устанавливался смотровой колодец, внутри которого находился конец пластмассовой дренажной трубы. Недозасыпанная часть щели на плавно выведенном участке дрены и пазуха колодца вручную заполнялись грунтовой массой, извлеченной из щели.

Обратная засыпка корыта грунтом производилась сразу на всю глубину без специального уплотнения. Для этого использовался бульдозер Д-492, который работал по челночной схеме.

Строительство заканчивалось планировкой трассы дрены.

Технологическая схема производства работ при строительстве закрытого пластмассового дренажа приведена на рис.2.

В 1970 году по предложенной технологии с применением дреноукладчика ДЩ-301 были построены закрытые пластмассовые дрены общей протяженностью около 3 км.

Результаты проведенных опытов подтвердили техническую возможность и экономическую эффективность применения разработанной технологии и комплекта машин при строительстве закрытого горизонтального дренажа из пластмассовых труб в неустойчивых грунтах орошаемой зоны. При этом по сравнению с полумеханизированным способом резко сокращаются затраты ручного труда, повышается производительность труда и снижается стоимость строительства, которая доведена до 2-3 руб. на погонный метр.

Дальнейшее усовершенствование технологии строительства должно идти по пути изыскания и разработки новых специальных машин для составления полного комплекта и улучшения организации производства.

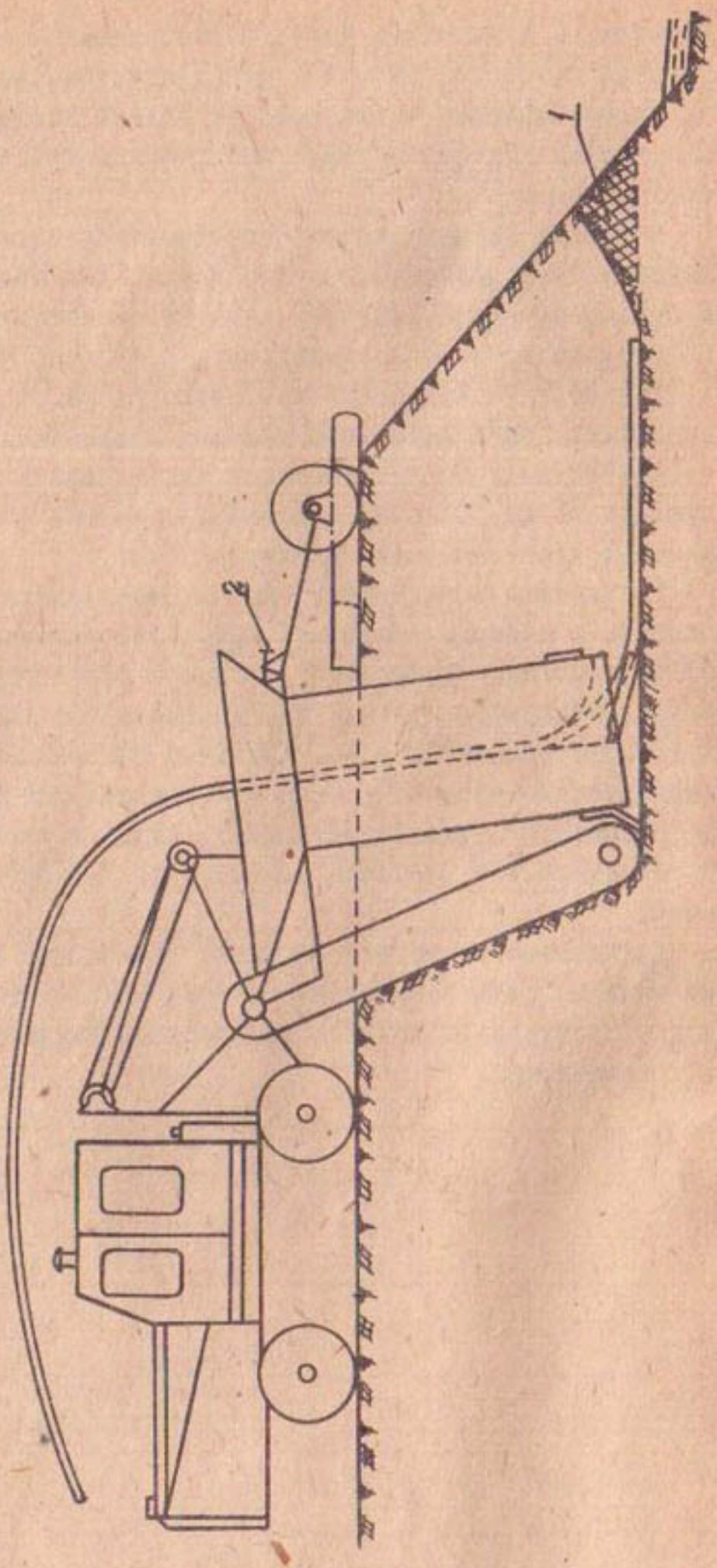


Рис. 2. Технологическая схема производства работ.

А.Н.МИРСАГАТОВ, Н.П.КАРПОВ, Г.В.БАТУРИН

ЩЕЛЕВОЙ ДРЕНОУКЛАДЧИК ДЩ-301 ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАКРЫТОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В НЕУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТАХ

В настоящее время строительство закрытого горизонтального дренажа в устойчивых грунтах достаточно полно механизировано. При этом применяются дреноукладчики Д-251, Д-301 конструкции САНИИРИ и Голодностепстроя, ЭД-3,0 конструкции ГСКБ по ирригации, Д-659А конструкции ВНИИЗеммаша и Брянского завода дорожных машин.

Однако вопрос механизации строительства закрытого дренажа в неустойчивых грунтах орошаемой зоны до последнего времени не решен. Строительство в таких условиях вынужденно ведется полумеханизированным способом. При таком способе траншея отрывается с устойчивыми на время выполнения работ откосами с перебором грунта со дна ее на 30-50 см. В последующем на одном из откосов устраивается ложе, в которое укладываются дренажные трубы.

Существенным недостатком этого способа является необходимость выполнения большого объема земляных работ, значительные затраты ручного труда, из-за низкой степени механизации основных операций производственного процесса, и соответственно высокая стоимость работ.

Вопросами механизированного строительства закрытого горизонтального дренажа в неустойчивых грунтах отдел организации и механизации водохозяйственных работ САНИИРИ занимается в течение ряда лет. В результате поисковых и исследовательских работ отделом совместно с Голодностепстроем создан щелевой дреноукладчик ДЩ-301 для строительства закрытого горизонтального дренажа из пластмассовых труб с круговой обсыпкой их песчано-гравийным фильтром.

Дреноукладчик (рис.1) разработан на базе трактора Т-100М, оборудованного ходоуменьшителем, и состоит из опорной рамы 1, предназначенной для навески основных узлов дреноукладчика к трактору, активного щелерезного органа 2, бун-

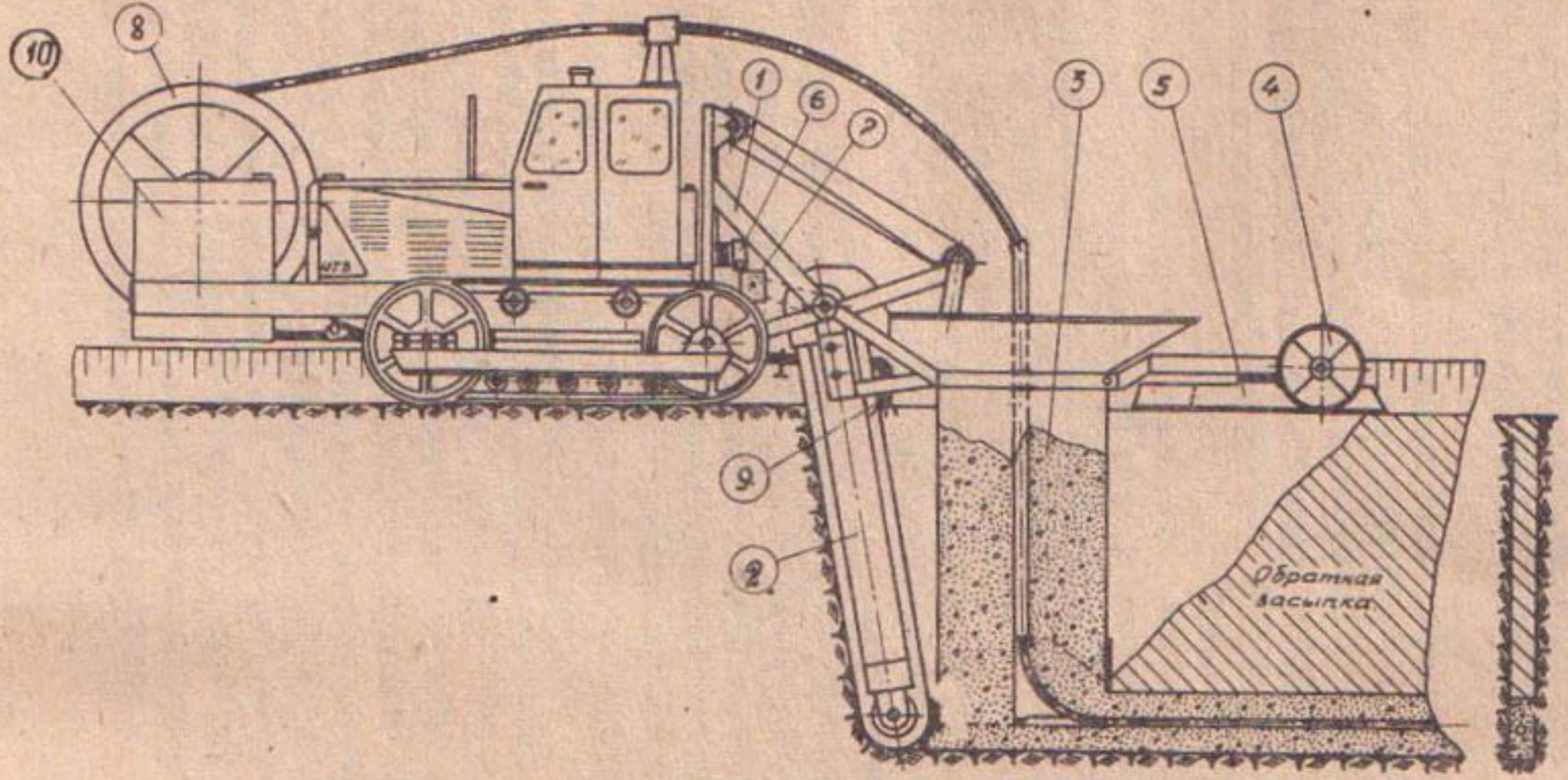


Рис.I.Конструктивно-кинематическая схема дреноукладчика ДЩ-301.

кера 3, ходового устройства 4 с засыпателями 5, подъемного 6 и реверсивного 7 механизмов.

Одним из основных узлов дреноукладчика является активный щелерезный орган (рис.2), состоящий из рамы I, ведущей звездочки 2, натяжного устройства 3, направляющих дорожек 4 и роющей цепи 5.

Роющая цепь представляет собой втулочно-роликовую цепь с встроенными в нее двух и трехрезцовыми (а и б) режущими элементами 6. Элементы вставляются в разрывы цепи через определенный шаг и представляют собой звено цепи с зубьями 7 и транспортирующими площадками 8. Зубья снабжены напайками из пластин тугоплавкого материала 9.

Направляющие дорожки служат опорной поверхностью для роликов роющей цепи и предотвращают боковые биения ее ветвей.

Рама щелерезного органа оборудована кожухом II для направления вынутого грунта на берму. При помощи двух пальцев I0 она прикреплена к несущей раме бункера-укладчика.

Бункер-укладчик (рис.3) состоит из двух отсеков и приемной воронки в которую загружается фильтрующий материал для круговой обсыпки дренажных труб.Для предотвращения образования сводов фильтрующего материала направляющая часть I бункера выполнена так,что проходное сечение внизу больше чем наверху.Отсеки внизу снабжены планировщиками 2 и 3,обеспечивающими необходимую толщину слоев фильтра.В нижней части передней стенки бункера установлен регулируемый по высоте нож-подборщик 4 для окончательной планировки дна щели,подбора оставшегося грунта и подачи его к транспортирующим элементам режущей цепи.Сверху бункера для удобства загрузки его фильтром,а также для размещения запаса фильтра предусмотрена приемная воронка 5.Между отсеками сверху вниз проходит трубопровод 6,по которому пластмассовая дренажная труба пропускается к месту ее укладки.В нижней части трубопровод имеет криволинейный участок с радиусом,обеспечивающим плавный переход трубы в горизонтальное положение и откидной щиток II. Перед бункером к несущей раме прикреплены ножи I0 для подрезки бровки щели с целью улучшения подачи грунтовой массы при обратной засыпке.

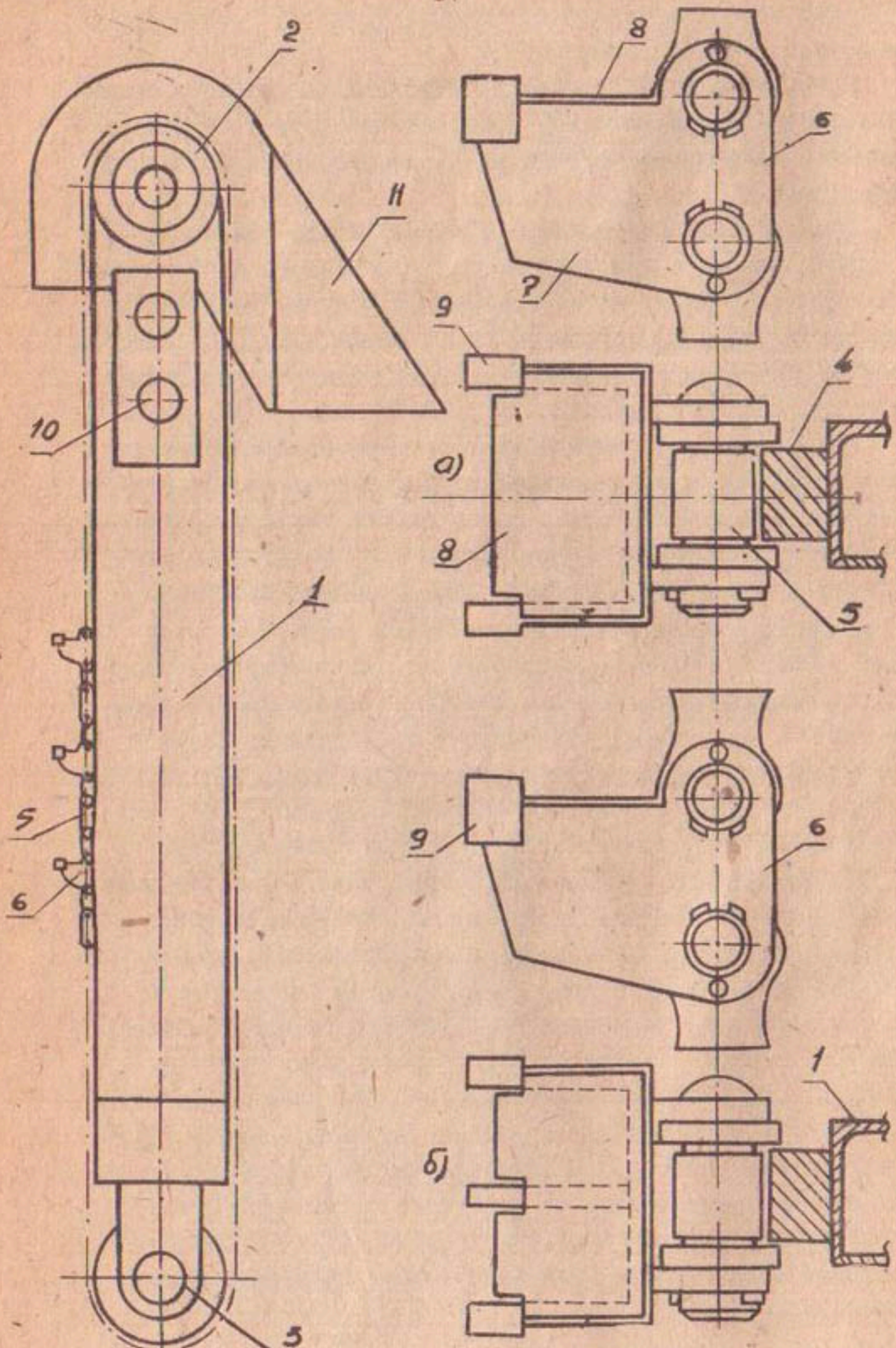


Рис.2.Активный роющий орган дреноукладчика.

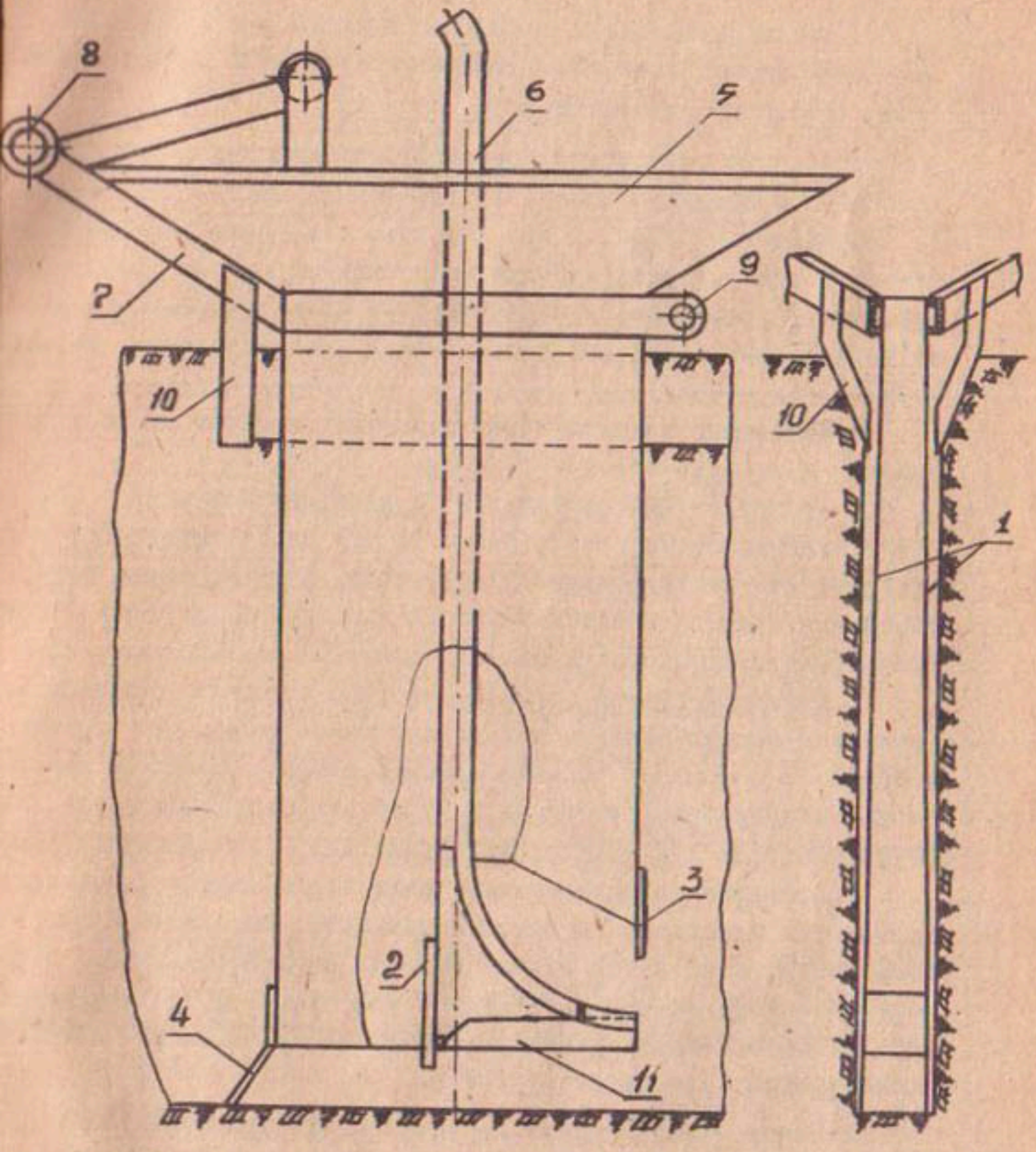


Рис.3.Бункер дреноукладчика.

Бункер прикреплен болтами к несущей раме 7,которая передней частью 8 шарнирно крепится к опорной раме,а задней 9 - к ходовому устройству.

Ходовое устройство (см.рис.I) состоит из оси с двумя колесами барабанного типа, оборудованными ножами для очистки от налипающего грунта. К оси ходового устройства прикреплены отвалы 5 для обратной засыпки щели вынутым из нее грунтом. Отвалы имеют устройство для регулировки угла установки их в плане и изменения положения в вертикальной плоскости. Отвалы установлены с некоторым смещением относительно друг друга.

Подъемный механизм дреноукладчика состоит из червячной лебедки и канатно-блочной системы.

Дреноукладчик оборудован специальной катушкой 8 для бухты пластмассовых труб и баком I0 для воды, подаваемой во время работы по трубопроводу 9 в забой. Вода подается для улучшения условий копания грунта и для получения необходимой консистенции грунтовой массы для обратной заделки щели.

Крутящий момент от вала I отбора мощности трактора (рис.4) к исполнительным механизмам дреноукладчика (червячной лебедке I0 и цепному роющему органу) передается через реверсивный механизм 2, состоящий из трех конических шестерен, кулачковой муфты 3 двухстороннего действия и реверсивного вала 4.

Вращение от реверсивного вала через параллельную цепную передачу 5 передается к роющему органу 6. Изменение скорости цепи достигается путем замены ведомых звездочек. Цепные передачи снабжены муфтами предельного момента 7. Привод червячной лебедки осуществляется цепной передачей 8, включение которой производится кулачковой муфтой 9.

Краткая техническая характеристика дреноукладчика ДЩ-30I

Базовая машина ..... трактор Т-I00М с ходоуменьшителем

Тип:

в работе..... полуприцепной

при транспортировании..... навесной

Роющий орган..... скрепковая цепь

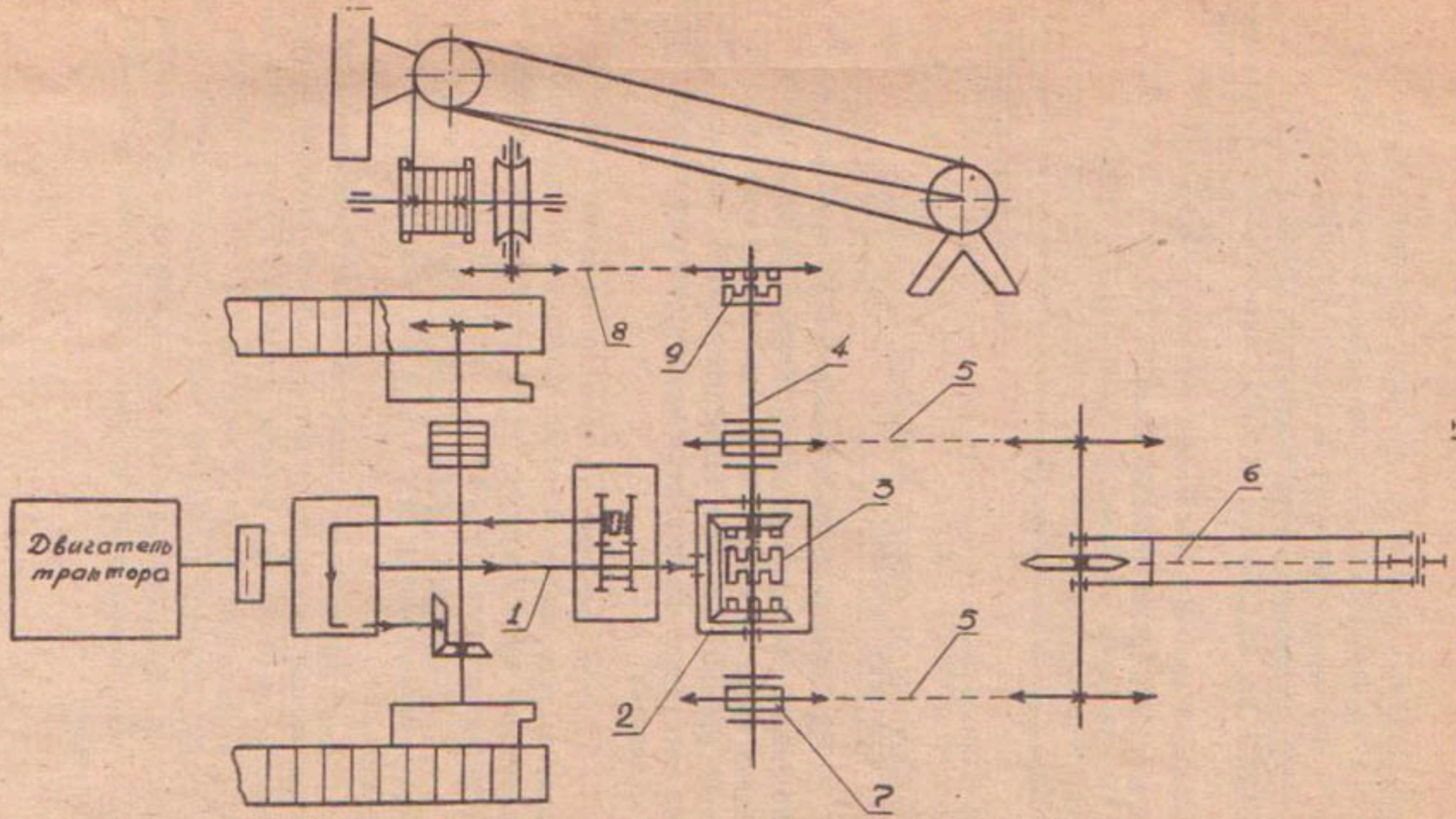


Рис.4.Кинематическая схема дреноукладчика.

Размеры щели в м:	
глубина	3
ширина	0,15
Диаметр укладываемых труб в мм	до 85
Материал фильтра	песчано-гравелистый с максимальным размером фракции до 10 мм
Размеры фильтровой обсыпки в мм:	
толщина подсыпки	до 200
толщина засыпки	до 300
Расход воды в $м^3$/пог.м	до 0,05 в зависимости от естественной влажности грунта
Рабочая скорость в м/ч	до 100
Вес в т	12,5 без воды
Обслуживающий персонал	2 чел.

Дреноукладчик ДЩ-301 работает по предварительно спланированной под заданный уклон трассе. Для этого дреноукладчик задним ходом подходит к краю коллектора и производит заглубление рабочего органа в откос до проектной глубины. Выступающий из бункера конец укладываемой трубы закрепляется на заданной отметке.

После прокладки устьевой части дрены бункер дреноукладчика загружается фильтром и начинается строительство дренирующей части линии из труб и фильтрующего материала с одновременной заделкой щели.

Работа дреноукладчика заканчивается постепенным выглублением исполнительного органа из щели не изменяя своего движения.

В 1968-69гг.на Гулистанском опытно-ремонтно-механическом заводе Голодностепстроя по рабочим чертежам САНИИРИ был изготовлен опытный образец щелевого дреноукладчика ДЩ-301 с номинальной глубиной закладки дрен 3м.В 1970г.были проведены исследования работы щелевого дреноукладчика в совхозе № 26 им.А.Икрамова в Голодной степи на строительстве опытно-производственных закрытых дрен.При этом установлено следующее:

- дреноукладчик синхронно выполняет основные операции технологического процесса по прокладке дренажной линии: рытье щели, зачистку ее дна от осыпавшегося грунта, отсыпку подстилающего слоя песчаного фильтра, укладку непрерывной дренажной трубы, засыпку труб фильтром и заделку щели грунтом;

- параметры, проложенных дреноукладчиком закрытых горизонтальных дрен, отвечают требованиям проекта;

- дреноукладчик имеет ряд конструктивных недостатков, устранение которых даст возможность увеличить производительность и надежность его в эксплуатации и улучшить качество выполняемых работ.

При дальнейшем улучшении конструкции дреноукладчиков необходимо предусмотреть:

- разработку рационального способа подачи воды в забой роющего органа;

- усовершенствование конструкции роющего органа в части обеспечения полного выноса и укладки в отвал разработанного грунта независимо от состояния его;

- разработку рационального способа подачи извлеченной грунтовой массы обратно в щель.

У.Ю.ПУЛАТОВ, Э.М.ОСТРОВСКИЙ, Ф.Ф.БЕГЛОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ ТРАМБОВАНИЯ ГРУНТА В ТРАНШЕЯХ ЗАКРЫТЫХ ДРЕН. ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ НА СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГРУНТОУПЛОТНЯЮЩИЕ МАШИНЫ

Устойчивая и надежная работа закрытых дрен в зоне орошения в значительной мере зависит от качества заделки траншей. В САНИИРИ разработаны и испытаны несколько вариантов упрочнения обратных засыпок в траншеях закрытых дрен. В частности, исследован, рассматриваемый в настоящей статье, способ уплотнения грунта в траншеях трамбованием на полную глубину засыпки.

Специфика упрочнения обратных засыпок в значительной мере определяется особенностями местных условий, которые характеризуются, наряду с другими факторами, широким распространением в покровной толще осваиваемых районов пылеватых, в большей или меньшей степени, засоленных грунтов. Числа пластичности грунтов изменяются от 3 до 16, а максимальная молекулярная влагоемкость от 14 до 20%.

Большое влияние на процесс уплотнения оказывает влажность грунта. В зависимости от глубины залегания горизонта грунтовых вод и климатических характеристик района естественная влажность грунтов изменяется в весьма широких пределах от 2 до 26%, а оптимальная влажность уплотнения в зависимости от содержания глинистой фракции – от 14 до 17%.

Сравнение плотности естественного и насыпного грунтов позволяет оценить размеры требуемого уплотнения грунта внутри траншеи. В пределах верхней 4-метровой толщи плотность естественного грунта обычно составляет в среднем 1,5 г/см^3, а насыпной грунт в дренажных траншеях размещается со средней плотностью 1,2 г/см^3.

Для строительства закрытого горизонтального дренажа в устойчивых грунтах применяют экскаваторы-дреноукладчики, которые прокладывают траншеи с вертикальными откосами шири-

ной 0,6 м и глубиной 3 м. Высота обратной засыпки 2,4-2,6 м.

Механически уплотнять связные грунты в траншеях можно послойной укаткой или трамбованием. Толщина слоя грунта, уплотняемого современными катками, весьма ограничена и для траншей шириной 0,6 м практически не превышает 0,5 м. Несколько большую толщину проработки можно получить при послойном трамбовании обратной засыпки.

Толщину уплотняемого слоя при трамбовании грунта рекомендуется назначать в пределах до 0,6-0,8 м /2/, так как при превышении указанной толщины резко возрастают затраты энергии на уплотнение единицы объема.

Известны две технологические схемы производства работ по уплотнению грунтов обратной засыпки. Первая схема относится к послойному уплотнению, а вторая, менее изученная, к уплотнению обратной засыпки в траншеях за один прием сразу на полную глубину. В условиях производства работ, характеризующихся недостаточной устойчивостью вертикальных стенок траншей, более приемлемой для дренажного строительства на орошаемых землях хлопковой зоны является вторая технологическая схема /3/.

С целью научного обоснования технических требований и заданий на машины для уплотнения обратной засыпки на полную глубину были проведены исследования в натурных траншеях с целью определения оптимальных параметров и режимов работы трамбующего органа.

При трамбовании обратной засыпкм деформация уплотнения распространяется преимущественно в вертикальной и частично в продольном направлениях. Соответственно этому, трамбование засыпки рассматривалось в настоящих исследованиях как процесс динамического сжатия столба грунта ограниченной ширины, и опыты проводились в траншеях с недеформируемыми стенками. Это достигалось за счет значительной разницы влажности грунта стенок траншей (6-9%) и обратной засыпки (13-14%).

Для проверки возможной деформации вертикальных стенок и фиксации взаимного их расположения до и после трамбования были установлены боковые реперы и определена точная ширина

траншеи на различных участках и горизонтах. Опыты показали, что вертикальные стенки траншеи не деформировались, несмотря на большую повторность ударов. Это имеет важное значение, так как в случае податливости стенок на различных участках изменялся бы и характер уплотнения обратной засыпки внутри траншеи.

Подготовленные для проведения настоящих исследований четыре опытных участка представляли собою отрезки траншей длиной 40-60 погм каждый, глубиной 2,2-2,3 м и шириной 0,6 м. Обратная засыпка траншей производилась из расчета создания плотности насыпного грунта на уровне I,2 г/см^3. Уплотняли траншеи специально сконструированной экспериментальной трамбующей установкой (ЭТУ), создающей направленные удары по обратной засыпке без касания стенок траншеи. Трамбующий орган установки (рис.I) представляет собою тележку, на которой закрепляется комплект быстросъемных стальных плит шириной 0,55 м.

Исследования были направлены на определение влияния веса, высоты сбрасывания и длины уплотняющего профиля трамбующего органа, а также числа наносимых ударов на изменение распределения плотности уплотненного грунта по глубине обратной засыпки. При трамбовании всей толщи обратной засыпки в дренажных траншеях ставилась задача получения в верхней зоне эффективного противофильтрационного экрана толщиной 0,5-0,7 м, плотность в котором не ниже плотности естественного грунта в стенках траншеи $\delta_{ск}$=I,5 г/м^3. В нижних горизонтах засыпки требовалось получить плотность не менее I,35-I,4 г/см^3 чтобы нижележащий I-I,3-метровый слой не давал значительных осадок и не приводил к явлениям сводообразования на границе между верхними, более уплотненными, и нижними, менее уплотненными слоями.

До укладки в траншею влажность грунта обратной засыпк. повышалась до W =I3-I4%, которая в наших условиях близка к оптимальной. На отдельных участках вынутый из траншеи грунт

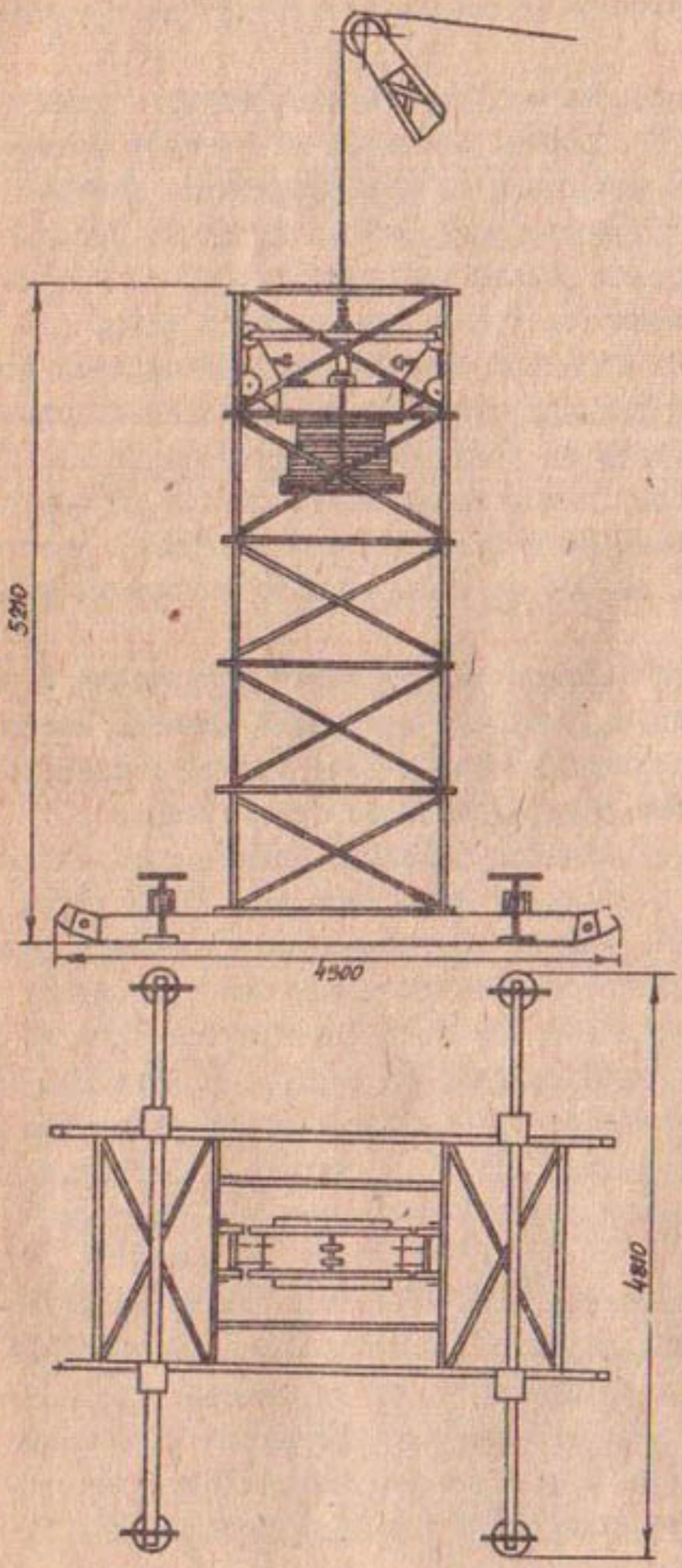


Рис.I. Схема экспериментальной трамбующей установки (ЭТУ).

не доувлажнялся, и влажность уплотняемого грунта не превышала 9-10%.

В настоящих исследованиях /4/ видоизменялись схемы производства работ. В частности, на одной из траншей трамбование производилось по одиночным следам-площадкам, центры которых отстояли друг от друга на 2,5-5 м. В опытах использовались трамбующие органы различной длины от 0,7 до 1,4 м. Остальные траншеи уплотнялись трамбующим органом одной длины (α = 0,7 м). Здесь обратная засыпка прорабатывалась непрерывно по всей длине траншеи путем последовательного перемещения трамбующего органа на новый уплотняемый след. Шаг перестановки соответствовал длине трамбующего органа. В опытах использовались трамбующие органы весом от 1 до 2,5 т, высота сбрасывания изменялась от 0,5 до 4 м, а число наносимых ударов от 1 до 12.

В представленной таблице даны условия проведения и результаты трех серий опытов, которые вскрывают влияние изменения длины трамбующего органа на уплотнение грунта в траншее. Во всех опытах по одному следу наносилось пять ударов.

К числу наиболее важных параметров трамбующего органа для уплотнения грунта в траншеях относится вес G и длина уплотняющего профиля α. Анализ достигнутого уплотнения показал, что вне зависимости от указанной длины при одинаковом весе трамбующего органа в верхней зоне достигается практически одинаковая величина максимальной плотности (рис.2). При использовании 1,5-тонного трамбующего органа указанная плотность находится на уровне 1,52-1,53 г/см^3, а 3-тонный трамбующий орган позволяет довести плотность до 1,6 г/см^3 и выше.

Однако, при постоянном весе изменение длины трамбующего органа существенно влияет на распределение плотности в нижних слоях уплотняемой засыпки. Чтобы плотность уплотненного грунта в нижних слоях засыпки не опускалась ниже минимального уровня 1,35 г/см^3, необходимо для каждого конкретного веса G ограничить длину уплотняющего профиля α. В

Таблица

Номер серии	I			II			III		
Номер опыта	I	2	5	I	3	9	II	7	5
Длина трамбующего органа, м	I,4	I,05	0,7	I,4	I,05	0,7	I,4	I,05	0,7
Высота сбрасывания, м		2,0		2,0	I,5	I,0		2,0	
Вес трамбующего органа, т		I,5			I,5		3,0	2,244	I,5
Удельное статическое давление, кг/см^2	0,I95	0,26	0,39	0,I95	0,26	0,39		0,39	
Удельная работа одного удара, кгм/м^2	3900	5200	7800		3900			7800	
Удельный импульс одного удара, $\frac{кг \cdot сек}{см^2}$	0,I2I	0,I6I	0,242	0,I2I	0,I4I	0,I75		0,242	

конкретных условиях уплотнения грунта в траншеях при I,5-тонном трамбующем органе оптимальное значение длины $\mathcal{L}$ составляет 0,7 м, а при 3-тонном трамбующем органе - I,4 м.

Исследования подтвердили, что эффект уплотнения находится в прямой зависимости от удельного импульса: чем больше испульс, тем выше плотность уплотненного грунта (рис.3). По характеру изменения плотности уплотненного грунта можно сделать заключение, что при удельном импульсе удара 0,I75 $\frac{кг \cdot сек}{см^2}$, трамбующий орган с длиной уплотняющего профиля 0,7 м обеспечивает одновременно получение в толще засыпки противофильтрационного экрана толщиной 0,6 м и достижение в нижних слоях засыпки требуемой плотности I,37 $г/см^3$.

Несмотря на использование трамбующих органов различного веса при одинаковых значениях удельного импульса удара, эффект уплотнения оказался практически одинаковым по величине (рис.4). С точки зрения достижения рекомендуемого распределения плотности уплотненного грунта некоторое предпочтение может быть отдано 3-тонному трамбующему органу. Однако сравнение зависимостей на рис.2, 3 и 4 показало, что с целью снижения общего веса уплотняющего оборудования и возможности его навески на мобильное шасси серийного производства, более целесообразно использовать I,5-тонный трамбующий орган с длиной уплотняющего профиля 0,7 м.

Уплотнение трех опытных траншей выполнялось трамбующим органом с постоянной длиной уплотняющего профиля 0,7 м. На каждой из траншей изменялся в определенных пределах один из параметров Q, H или n (рис.5). Кривые, примыкающие к левой стороне графика и обозначенные сплошными линиями, соответствуют опытам, в которых использовался I-тонный трамбующий орган, сбрасываемый с высоты 2 м. Анализ этой группы кривых показывает, что близное к рекомендуемому распределению плотности уплотненного грунта получено при девяти ударах по одному следу.

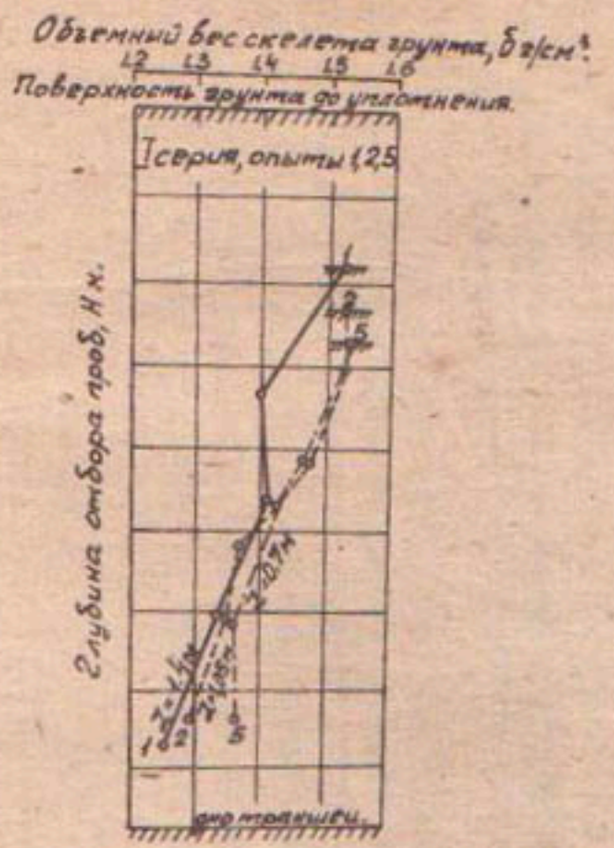


Рис.2. Изменение плотности грунта $\delta_{ср}$ от длины трамбующего органа ℓ при Q=1,5 т, H = 2 м, n = 5.

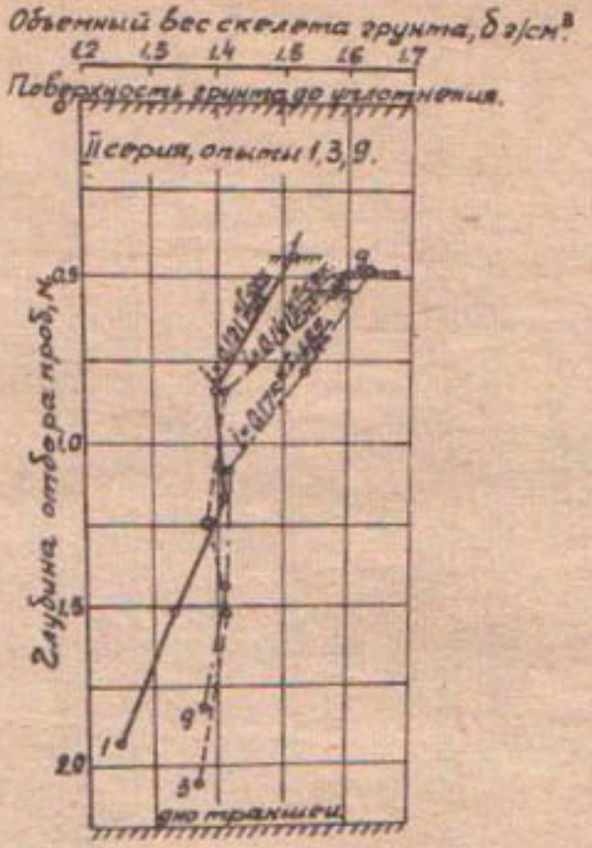


Рис.3. Изменение плотности грунта $\delta_{ср}$ от удельного импульса удара i при Q=1,5 т, n = 5, $\sigma_{уд}$ = 3900 $\frac{кГм}{м^2}$

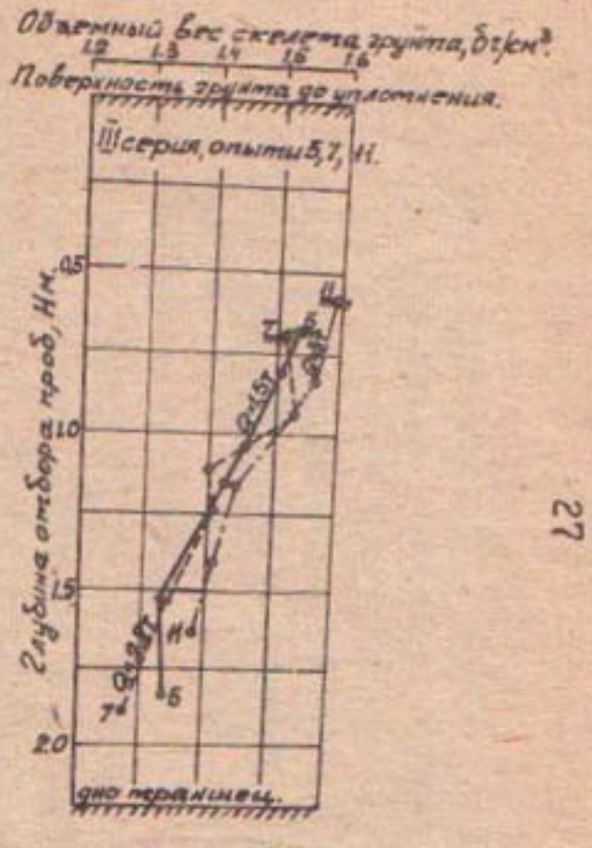


Рис.4. Изменение плотности грунта $\delta_{ср}$ от веса трамбующего органа при H =2 м, n = 5, i =0,245 $\frac{кГ \cdot сек}{см^2}$

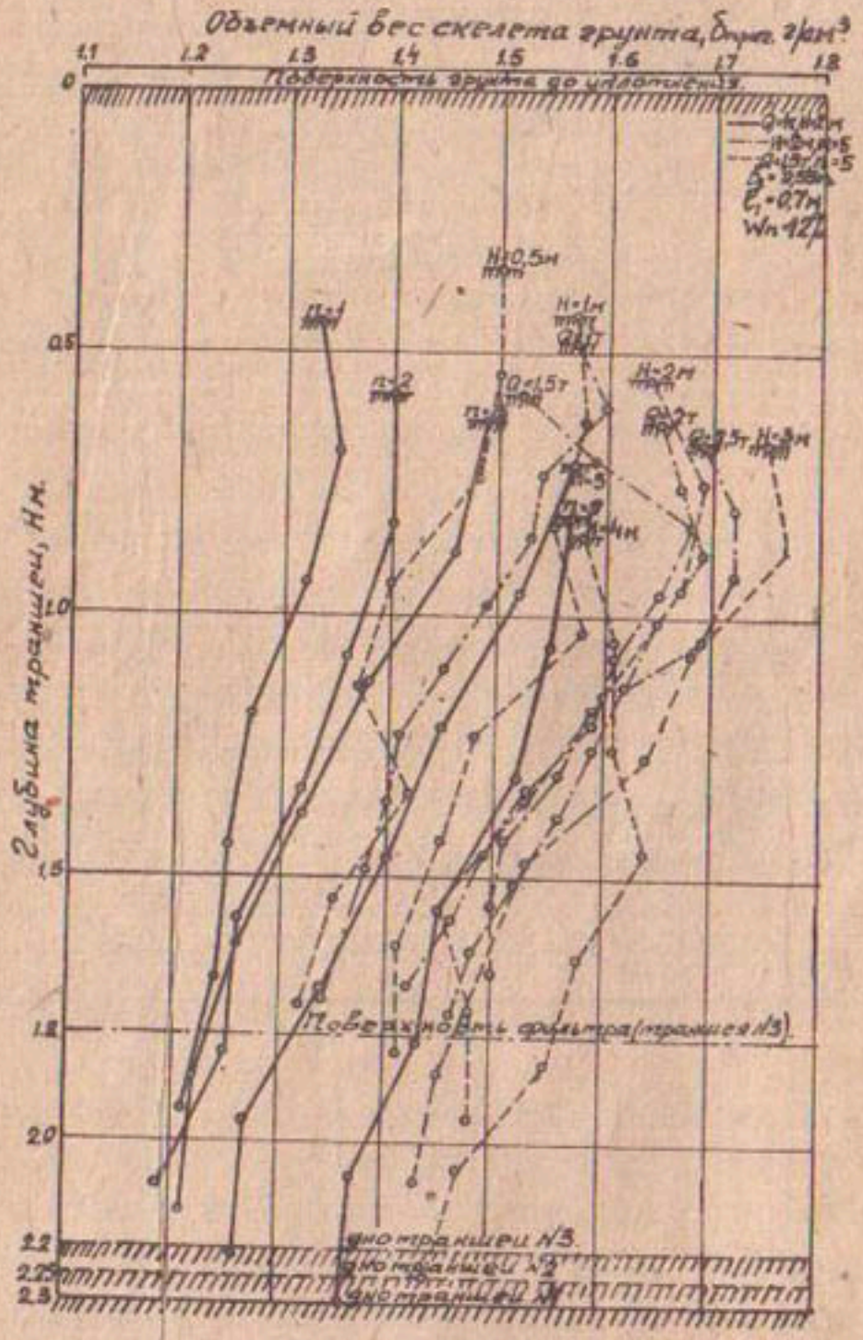


Рис.5. Изменение плотности грунта $\delta_{прив}$ от веса Q, высоты сбрасывания и числа ударов n трамбующего органа длиной 0,7 м.

Группа кривых, занимающая на графике среднее положение и обозначенная пунктирными линиями с точками, соответствует опытам, в которых режим уплотнения характеризовался постоянной высотой сбрасывания (H = 2 м) и постоянным числом ударов по одному следу (n = 5). Близкое к рекомендуемому распределение плотности получено здесь при использовании I,5-тонного трамбующего органа.

Группа кривых, расположенная на правой стороне графика и обозначенная пунктирными линиями, соответствует опытам, в которых использовался I,5-тонный трамбующий орган и по одному следу наносилось постоянное число ударов (n = 5).Здесь близкое к рекомендуемому распределение плотности уплотненного грунта получено при сбрасывании трамбующего органа с высоты 2-3 м.

Выполненные исследования подтвердили, что путем изменения параметров, определяющих режим работы трамбующей машины, можно в определенных пределах регулировать распределение плотности грунта на всех горизонтах уплотненной засыпки. С ростом числа повторностей приложения ударной нагрузки повышается плотность грунта в верхних его слоях и, наряду с этим, увеличивается глубина проработки.

Увеличение высоты сбрасывания трамбующего органа также ведет к аналогичному росту плотности грунта в верхних слоях засыпки. После достижения определенного предела увеличение числа ударов, а также увеличение высоты сбрасывания трамбующего органа приводит к противоположному явлению - снижению плотности в верхних слоях и увеличению плотности в нижних слоях, что свидетельствует о перемещении "ядра уплотнения" вниз к подошве траншеи.

Таким образом, для достижения требуемой плотности на различных горизонтах обратной засыпки, I,5-тонный трамбующий орган с длиной уплотняющего профиля 0,7 м необходимо пять раз сбрасывать с высоты 2-3 м. При влажности уплотняемого грунта, близкой к оптимальной, высоту сбрасывания можно принять равной 2 м, а при влажности на 3-5% ниже оптимальной - 3 м.

В результате выполненных исследований разработаны технические требования на трамбующие машины для дренажного строительства. Машины должны производить уплотнение насыпного слоя грунта высотой 2,25 м в траншеях шириной 0,6 м при влажности грунта, близкой к оптимальной, но не менее чем на 3–5% ниже оптимальной. Рабочие органы трамбующих машин должны обеспечить создание направленных ударов по поверхности уплотняемой засыпки. Трамбовать необходимо при непрерывном движении, нанося за один проход трамбуемое число ударов по одному следу. После прохода машин в верхней зоне засыпки должен быть создан уплотненный слой толщиной 0,5–0,7 м с плотностью не ниже I,5 г/см^3. В нижних слоях засыпки - плотность не ниже I,35 г/см^3.

Подводя итог выполненным исследованиям рекомендуется доводить рабочую скорость машины до 80 пог.м/ч, что соответствует пяти ударам по одному следу. Эксплуатационная производительность должна составлять 60 пог.м/ч дренажа.

ЛИТЕРАТУРА

I. Обобщение отечественного и зарубежного опыта по борьбе с засолением орошаемых земель, Научно-технический отчет НИС МГМИ, Машинопись, т.I, М., I968.

2. Хархута Н.Я. Машины для уплотнения грунтов, Машгиз, М., I963.

3. Пулатов У.Ю., Островский Э.М. Уплотнение грунтов обратной засыпки траншей при строительстве закрытого горизонтального дренажа, Бюлл. "Механизация хлопководства", I963, № 7.

4. Разработка технических требований на трамбующие машины для уплотнения грунта в траншеях закрытого горизонтального дренажа, Научно-технический отчет САНИИРИ, Машинопись, Ташкент, I970. Депонирован в ВНТИЦ, инв.№ Б133100.

С.Д.ПАК

ТЕХНОЛОГИЯ И МЕХАНИЗАЦИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ВЫСОКОНАПОРНОЙ УКАТАННОЙ ПЛОТИНЫ

В последние годы в ирригационном строительстве большое распространение получают укатанные плотины из местных материалов, среди которых, по своим конструктивным параметрам, особое место занимает плотина Пачкамарского водохранилища на р.Гузардарья в УзССР[x]. Высокие темпы и качество строительства, а также новые технологические приемы ее возведения представляют большой практический интерес. Полученный опыт может быть использован при проектировании и строительстве аналогичных сооружений.

Пачкамарская плотина высотой более 70 м и длиной по гребню 700 м образует водохранилище емкостью 260 млн.м^3. Для строительства плотины были использованы галечниковые и лессовые грунты, залегающие в достаточном количестве в районе строительства. Гранулометрический состав их представлен на рис.I. Фильтровый материал для переходных зон получен путем отсева из галечника крупных ($d > 20$ мм) и пылевато-глинистых фракций.

Плотина смешанного типа с крутизной откосов 2,0÷2,25, возведена на скальном основании и состоит из центрального суглинистого ядра обжатого профиля с крутизной откосов равной 0,5, верховой и низовой галечниковых призм и расположенных между ядром и призмой переходных зон толщиной I,5 м.

Крутые откосы сопряжения элементов (ядро - переходная зона-призма) предъявляли жесткие требования к технологии и организации производства работ.

Как известно, при пологих откосах (положе естественного откоса укладываемого грунта) ядра, оно может быть возве-

---

X) Технология и вопросы механизации строительства Пачкамарской плотины разработаны с участием автора, который возглавлял в течение всего периода строительства экспедицию САНИИРИ, осуществлявшую контроль за возведением плотины.

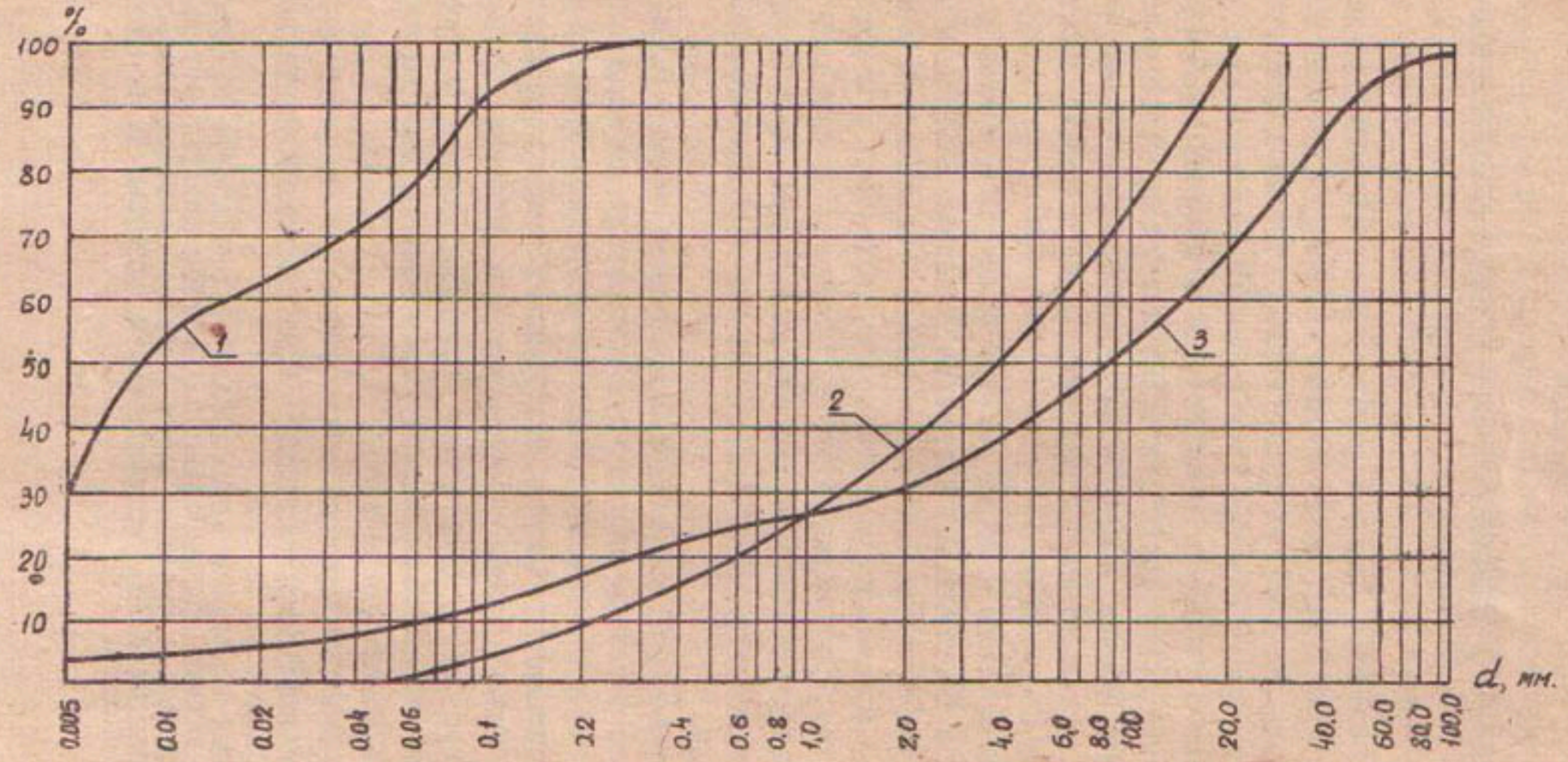


Рис.I. Кривые гранулометрического состава грунтов тела плотины Пачкамарского водохранилища:
I - ядра; 2 - переходных зон; 3 - бокоых призм.

дено с некоторым опережением по высоте от призмы. При крутых же откосах подобное опережение приводит к сужению ядра по мере его возведения. Поэтому параллельность технологических процессов по всем элементам сооружения является необходимым условием обеспечения проектных параметров отдельных его частей и требует такого распределения машин по карьерам, чтобы объемы выработки грунта для отдельных элементов плотины строго соответствовали потребностям в них на данном этапе возведения.

На строительстве Пачкамарского водохранилища эта задача была решена следующим образом. Расчетным путем определялись объемы отдельных элементов плотины на каждый метр ее высоты. С помощью фотоучетов и замера и фактически выполненных объемов устанавливалась производительность землеройных машин, разрабатывающих грунты для тела сооружения. Составляя по ней различные варианты группировок машин по видам разрабатываемых грунтов, находился наиболее оптимальный, при котором суточная относительная выработка каждой группы (в долях от выработки всех используемых машин) практически равнялась относительному объему соответствующего элемента на данной отметке плотины. Ввиду изменчивости отношения этих объемов по высоте сооружения предусматривались перегруппировки машин по мере возведения.

Транспортные средства распределялись по их грузоподъемности, мобильности, дальности перевозки грунта и производительности обслуживаемой ими землеройной машины. Составленный с учетом этих факторов график распределения землеройных и транспортных машин позволил не только избежать непредвиденные простои отдельных машин, но и заблаговременно планировать их переброску из одного карьера в другой.

Технологический процесс возведения Пачкамарской плотины по каждому ее элементу, за исключением переходных зон, состоял из следующих основных операций:

разработка предварительно увлажненных грунтов в карьере одноковшовыми экскаваторами;

транспортирование грунтов на плотину автосамосвалами;

увлажнение с помощью автоцистерн и последующее рыхление поверхности, на которую отсыпаются грунты, кулачковыми катками;

отсыпка грунтов на плотину отдельными кучами на заданном расстоянии друг от друга;

разравнивание грунтов и планировка поверхности бульдозерами;

уплотнение грунтов пневмокатками.

Грунты в карьерах разрабатывались одноковшовыми экскаваторами ЭКГ-4,6, Э-2503, Э-2005 и Э-10011, оборудованными прямой лопатой, и транспортировались автосамосвалами КрАЗ-256, МАЗ-503 и МАЗ-205.

Установлено, что на основные технико-экономические показатели работы экскаватора большое влияние оказывает отношение емкости кузова самосвала к емкости ковша обслуживаемого им экскаватора, определяемого числом выгружаемых в один самосвал ковшей " $n_к$ ". С ростом этого числа уменьшаются потери грунта при погрузке и время простоев экскаватора в ожидании смены транспортных средств, вследствие чего его производительность повышается. Так, если при $n_к$=I она составляет около 40%, то при $n_к$=8 достигает 90% от той производительности, которую он имеет при работе в отвал. Дальнейший рост $n_к$ не приводит к существенному повышению производительности.

Расчетами установлено, что стоимость разработки грунта (с учетом "простоев" самосвалов под погрузкой) снижается с увеличением " $n_к$ " лишь до 3-х. В дальнейшем она повышается. Однако стоимость перевозки единицы объема грунта непрерывно снижается с ростом $n_к$. Следовательно, чем больше расстояние транспортирования, тем выше эффект от повышения грузоподъемности самосвалов.

На разработке и транспортировании суглинистых грунтов была исследована возможность применения самоходного и прицепного скреперов Д-357Г и Д-374. Особое внимание было уделено вопросу целесообразности и эффективности использования толкача в процессе набора грунта. С одной стороны, несмотря

на значительное ускорение процесса набора грунта, применение его вызывает удорожание удельной стоимости разработки, с другой - благодаря повышению наполнения ковша скрепера оно снижает удельную стоимость перевозки грунта. Расчеты, выполненные по фактическим материалам, говорят о том, что на рассматриваемом объекте применение толкача экономически оправдывается, если дальность перевозки грунта превышает 0,5 км для самоходных скреперов и 0,2 км для прицепных (с трактором). Анализ результатов исследований разработки и транспортирования грунтов различными машинами позволил установить стоимость работ, выполняемых отдельными комплектами машин (рис.2). Из приведенного графика следует, что каждый комплект машин имеет наиболее эффективную область применения. Так, например, комплект из автоскреперов Д-357Г и толкача-трактора ДЭТ-250 экономичен при дальности возки грунта от 0,5 до 9,0 км, а при большем расстоянии выгоднее использование комплекта из экскаватора Э-I00II и автосамосвала КрАЗ-256, который является наименее эффективным при дальности возки до I,6 км. Для улучшения связи между слоями поверхность плотины перед отсыпкой очередного слоя увлажнялась из автоцистерны и разрыхлялась кулачковыми катками Д-I30Б. Причем рыхление производилось полосой лишь там, где не предполагалось движение автотранспорта. Поэтому эта операция выполнялась одновременно с отсыпкой.

Грунты отсыпались отдельными кучами и разравнивались бульдозерами Д-384А. Расстояние между кучами устанавливалось, исходя из заданной толщины слоя и объема грунта в самосвале, и контролировалось специальными регулировщиками, которые одновременно учитывали работу транспортных средств.

Одной из сложных и ответственных операций технологического процесса строительства высоконапорных укатанных плотин является устройство переходных зон. В практике плотиностроения толщина переходных зон, назначаемая из условия возможности движения транспортных средств, занятых перевозкой фильтра, составляет не менее 3,5 м /I/, хотя по расчету она может быть даже 0,2 м /2/. Увеличение толщины переходных зон

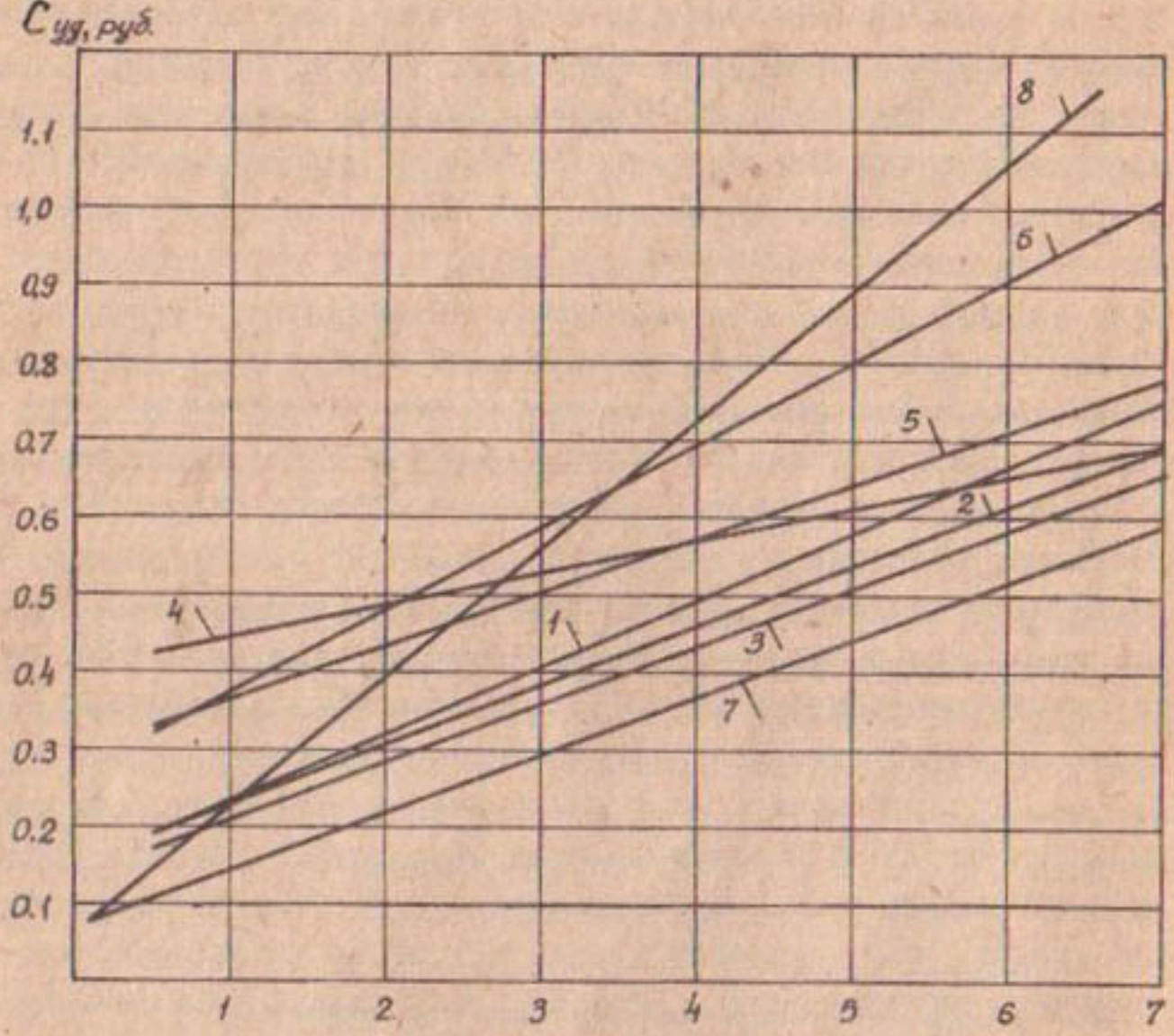


Рис.2. Сравнительная стоимость разработки и транспортирования I м³ грунта различными машинами в зависимости от дальности перевозки:
I - экскаватор ЭКГ-4,6, самосвалы КрАЗ-256
2 - экскаватор Э-2503, самосвалы КрАЗ-256
3 - экскаватор Э-2005, самосвалы КрАЗ-256
4 - экскаватор Э-100II, самосвалы КрАЗ-256
5 - экскаватор Э-100II, самосвалы МАЗ-503
6 - экскаватор Э-100II, самосвалы МАЗ-205
7 - автоскрепер Д-357Г, толкач - ДЭТ-250
8 - скрепер Д-374, толкач - ДЭТ-250

против расчетной зачастую приводит к удорожанию стоимости сооружения, так как запроектированный гранулометрический состав фильтра, в основном, достигается лишь искусственным путем. На описываемом объекте строительства фильтр приготавливался из галечника, предназначенного для призм плотины, путем от-

сева фракции крупнее 20 мм на дробильно-сортировочном комбайне СМ 739-740 с последующей промывкой стационарной гидромониторной установкой в специальном бетонном котловане.

Экономические расчеты показали, что в данных условиях стоимость I м^3 фильтра, уложенного в сооружение, составляет 4,5I руб., что в семь раз превышает стоимость галечника и в 6,5 раз - стоимость суглинка, за счет уменьшения объемов которых, собственно, и утолщаются фильтровые зоны.

Учитывая важность экономии дорогостоящего материала фильтра, автором была разработана конструкция фильтроукладчика /3/, обеспечивающего устройство переходных зон строго заданного расчетного профиля. Около 80% всего объема фильтра Пачкамарской плотины уложено с помощью фильтроукладчика, изготовленного в ремонтно-механической мастерской СМУ Пачкамарводстроя, что позволило значительно снизить стоимость строительства этой плотины. Уложенный фильтр, а также галечник и суглинок уплотняли груженными автоскреперами Д-357Г.При проектной плотности фильтра 2,I5 г/см^3 и толщине слоя 50 см, суглинка - I,80 г/см^3 и толщине слоя до 35 см, галечника - 2,25 г/см^3 и толщине слоя до 80 см требовалось всего четыре прохода скрепера по одному следу.

На укатке суглинистого грунта была исследована возможность применения кулачковых катков серийного производства Д-I30Б и опытного образца БКК /4/, оснащенного кулачками типа "овечья ножка", а также пневмокатки ДСК-I.

На рис.3 приведены показатели эффективности работы катков, из которых видно, что интенсивность роста толщины уплотненного слоя (в пределах которого достигнута проектная плотность) с каждым последующим проходом снижается, поэтому и производительность катков с увеличением толщины уплотняемого слоя снижается из-за возрастания необходимого числа проходов по одному следу. У кулачковых катков в начале наблюдается некоторый рост производительности. Однако в дальнейшем увеличение толщины слоя также ведет к ее снижению, и соответственно к повышению стоимости уплотнения. Но при экономической оценке работы катков нельзя исходить только из стоимости уп-

лотнения. Следует учесть и расходы на такие виды работ, как увлажнение и рыхление основания под отсыпку очередного слоя, разравнивание грунта и планировка поверхности перед укаткой и др., так как они непосредственно связаны с толщиной отсыпки.

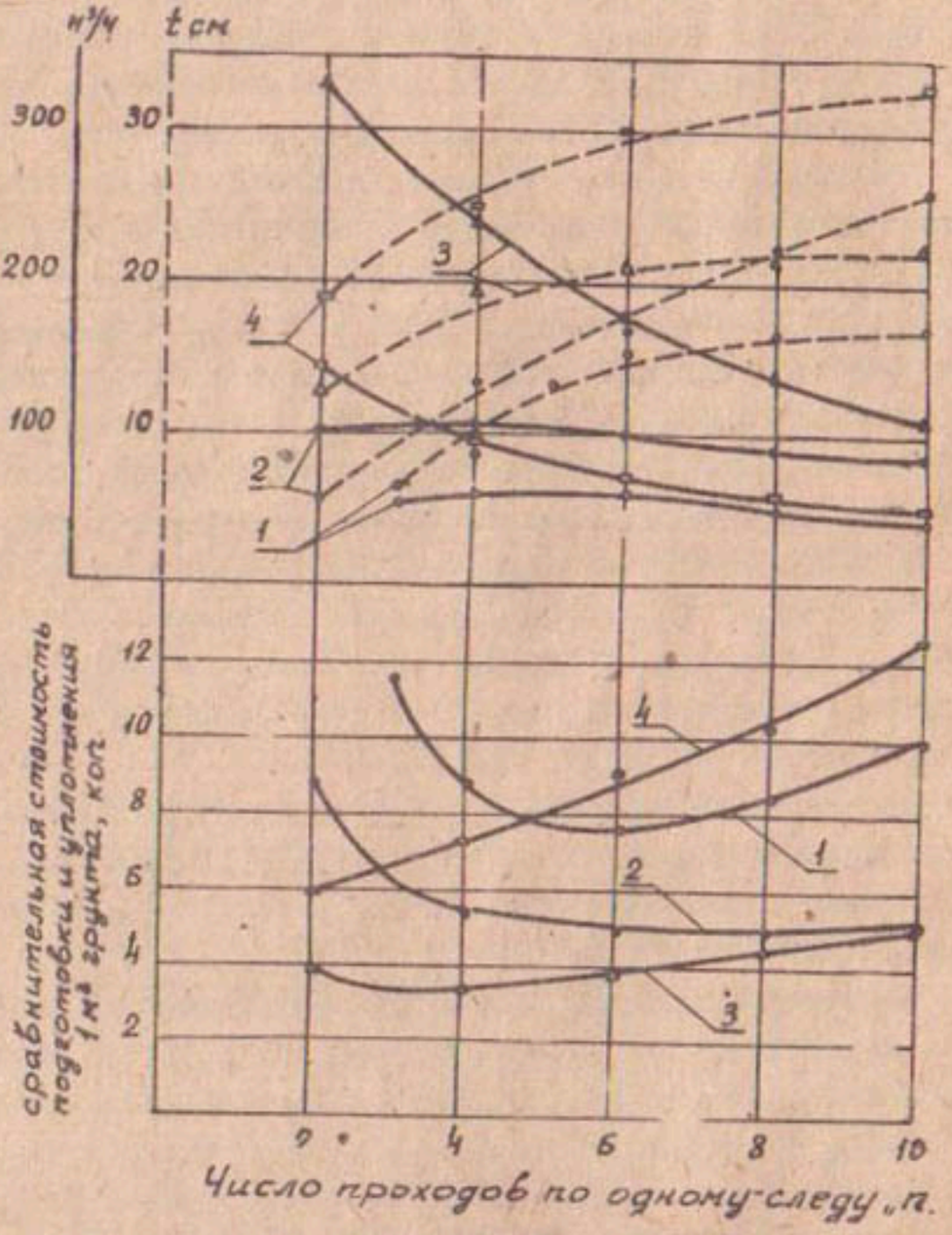


Рис.3. Показатели эффективности работы катков:
I - 3 катка Д-130Б (с балластом) в сцепе гуськом с трактором С-100;
2 - 2 катка БКК в сцепе гуськом с С-100;
3 - пневмокаток ДСК-I (с балластом);
4 - автоскрепер Д-357Г (весом 40 т).

Расчеты, выполненные с учетом этих расходов, показали, что при уплотнении катками, особенно кулачковыми, уменьшение толщины отсыпаемых слоев может привести к удорожанию общей удельной стоимости уплотнения и связанных с ним работ.

В стоимостном отношении наиболее эффективным оказался пневмокаток ДСК-I, а с точки зрения толщины отсыпаемых слоев, которая оказывает исключительно большое влияние на темп возведения сооружения в условиях недостаточного фронта работ, выгоднее использовать груженые автоскреперы Д-357Г.

Этот фактор был определяющим при выборе средств уплотнения грунтов тела плотины Пачкамарского водохранилища, что и сыграло немаловажную роль в завершении строительства на год раньше срока.

В комплексе технологических операций, выполняемых при возведении укатанных плотин, важное место занимают планировочные работы на откосах по приданию им проектного очертания. Однако в методических указаниях СНиП и ТУиН проектирования и строительства плотин этот вопрос не получил должного освещения. Имеется лишь единственное указание /I/ на то, что планировка откосов в основном производится путем срезки излишков грунта преимущественно бульдозерами с откосниками, а также автогрейдерами, экскаваторами с планировочными рамами и другими специальными машинами.

На строительстве Пачкамарской плотины проектом производства работ предусматривалась планировка откосов по шаблонам-откосникам, устанавливаемым по каждому из отсыпаемых слоев вдоль бровки откоса плотины. Но из-за сложности точной установки шаблонов и трудоемкости послойных планировочных работ, выполняемых при этом, в основном, вручную, такой способ не получил практического применения.

Планировка откосов здесь производилась экскаватором, оборудованным драглайном, причем не послойно, а по ярусам, высота которых в соответствии с высотой между промежуточными бермами была принята равной 9 м. Затем вручную поверхность откоса доводилась до проектного положения.

При планировке по ярусам на откосах накапливался большой объем излишков грунта, который достигал 50 м^3 на погонный метр длины плотины лишь по одному ярусу, а в целом по сооружению составил бы около 300 тыс.м^3, или I0% от общего объема тела плотины.

Переработка такого большого объема грунта в масштабе данного объекта не только приводит к удорожанию сооружения, но и сужает фронт работ на плотине, вызывает простои или недогрузку отдельных машин, что снижает темп строительства.

Исследования, проведенные в направлении разработки способа снижения излишков объема грунта на откосах, показали, что отсыпать грунт у откоса плотины необходимо по схеме (рис.4,А), согласно которой естественный откос отсыпаемого слоя опирается на поверхность предыдущего слоя на заданном расстоянии "а" от верхней бровки его откоса. После разравнивания грунта (без удаления) такой откос примет проектное очертание.

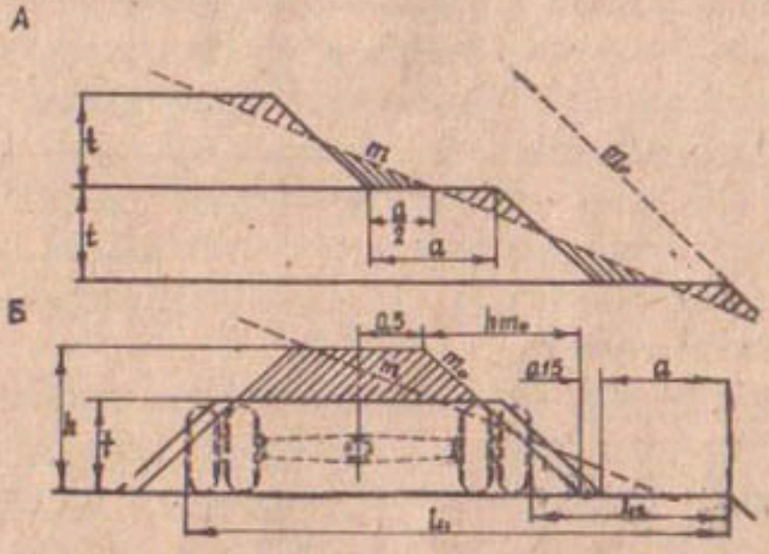


Рис.4. А – схема отсыпки грунта у откоса плотины;
Б – схема для расчета значения "∠".

Указанное условие обеспечивается при соблюдении заданного расстояния "∠" от верхней бровки откоса до ходовой части автосамосвала в момент выгрузки грунта. Для определения ∠ ставились специальные опыты.

Подвозимый автосамосвалами МАЗ-205 грунт отсыпали вдоль откоса плотины, причем, для первого ряда в момент выгрузки ось машины совмещали с осью отсыпаемого ряда. Расстояние между смежными точками выгрузки назначалось из условия получения заданной толщины слоя после разравнивания грунта без перемещения его за пределы отсыпаемого участка. Толщина

задавалась от 40 до 90 см с интервалом 5–10 см. Непосредственным обмером и инструментальной съемкой насыпи до и после отсыпки и разравнивания каждого слоя установлено, что независимо от толщины укладываемого слоя в вышеуказанных пределах в условиях перевозки грунта самосвалами МАЗ-205

$$l_{1,2} = 0{,}65 + h m_0 + t(m - m_0) \pm 0{,}5\,b$$

где l_1 и l_2 – расстояния от верхней бровки откоса до края отдаленного и близрасположенного скатов самосвала, м;

h – высота отсыпанных куч, м;

m_0 – крутизна естественного откоса рыхлоотсыпанного грунта;

m – проектная крутизна откоса плотины;

t – толщина слоя после уплотнения, м;

b – колея по наружным краям задних колес самосвала, м.

По заданным величинам толщины слоя и крутизны откоса плотины по данной ее высоте находили расстояние l_1 или l_2, которое отмечали на отсыпаемом участке. В натуре оно фиксировалось с помощью тележки, которая загружалась просеянным мелом и при протаскивании оставляла след.

Машина на выгрузку подавалась задним ходом так, чтобы в момент выгрузки один из соответствующих скатов находился на отмеченной полосе.

Разравнивание слоев производилось продольными ходами бульдозеров Д-384А, а планировка откосов по ярусам при их движении сверху вниз по откосу.

Применение данного способа на строительстве Пачкамарской плотины позволило полностью ликвидировать "непрофильные" объемы, а также механизировать процесс планиров и и формирования откосов до требуемой крутизны с применением лишь бульдозеров. При высоте яруса 9 м, после планировки откоса без удаления грунта отклонение его верхней бровки от заданного положения составляло от 10 до 40 см по горизонтали в сторону увеличения, что практически можно считать допустимым.

Высокий темп и качество строительства, а также четырехлетняя эксплуатация водохранилища с ежегодным накоплением свыше 200 млн.м^3 воды дают основания рекомендовать изложенные способы производства и средства механизации отдельных видов работ для использования при проектировании и возведении укатанных плотин.

ЛИТЕРАТУРА

I. Строительные нормы и правила СНиП Ш-Б, I-62, М., 1964.
2. Строительные нормы и правила СНиП П-И, 4-62, М., 1963.
3. Пак С.Д. Механизация укладки фильтра переходных зон при строительстве насыпных земляных плотин, ж."Строительство и архитектура Узбекистана", 1969, № 2.
4. Пак С.Д. Работа кулачковых катков на уплотнении лессовидных суглинков для тела плотины Пачкамарского водохранилища, ж."Механизация хлопководства", 1964, № 7.

С.Д.ПАК

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМЫ ПЛОТНОСТИ И ОПТИМАЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ, УКЛАДЫВАЕМЫХ В ЯДРО (ЭКРАН) ВЫСОКОНАПОРНЫХ УКАТАННЫХ ПЛОТИН

В настоящее время в наиболее распространенных типах плотин /I/, в которых глинистые грунты, в частности лессовые, применяются для устройства водонепроницаемого ядра или скрытого экрана, устойчивость откосов этих плотин обеспечивается прочностью их призм, возводимых из крупнообломочных материалов. В этих условиях получаемые за счет плотности незначительные изменения сопротивления лессовых грунтов сдвигу не имеют практического значения. Тем более, что в тех пределах плотности, которые имеют место для укатанных плотин, сопротивление сдвигу, как и коэффициент фильтрации лессовых грунтов ядра, изменяется незначительно /2/. В отличие от указанных характеристик их, сжимаемость в высокой степени зависит от достигнутой плотности.

Какова же должна быть плотность, чтобы сжимаемость под действующей нагрузкой не превышала заданных величин? Действующие строительные нормы и правила /3/ рекомендуют норму плотности глинистых грунтов, укладываемых в тело плотины, определять расчетным путем по формуле

$$\delta_{сх} = \frac{\delta_г \cdot \delta_в (1 - V)}{\delta_в + \delta_г \cdot W_0}, \qquad (I)$$

где $\delta_{сх}$ – нормы плотности грунта, г/см^3;

$\delta_г$ – удельный вес грунта, г/см^3;

$\delta_в$ – удельный вес воды, г/см^3;

V – объем защемленного воздуха в долях единицы, принимаемый равным 0,04÷0,06;

W_0 – оптимальная влажность в долях единицы, принимаемая на 2–3% ниже границы раскатывания, но не менее максимальной молекулярной влагоемкости.

Из приведенной формулы следует, что требуемая плотность зависит от оптимальной влажности грунта. Кроме того,

она не учитывает увеличения плотности укладываемого грунта с ростом веса вышележащих слоев. Как показала практика, вычисленная по формуле (I) плотность может оказаться излишне высокой для низких плотин, но далеко недостаточной для нижележащих слоев высоких плотин.

По расчету требуемой плотности имеются немногочисленные предложения, среди которых особое внимание заслуживает рекомендация Песикова Е.С. /2/, обнаружившего у лессового грунта так называемую "оптимальную плотность", при которой наблюдается наименьшая его сжимаемость. Такой вывод сделан по результатам лабораторных исследований сжимаемости образцов, уплотненных на копре Клебе.

Для установления возможности применения указанной рекомендации в условиях уплотнения грунта укаткой, Песиковым Е.С. исследована сжимаемость образцов, отобранных из тела Каттакурганской плотины, возведенной из лессового суглинка путем укатки при влажности I6÷I8%. Результаты испытания приведены в таблице I, заимствованной из работы /2/.

Таблица I

Условия опыта	Плотность, г/см³	Модуль осадки в мм/м при давлениях в кг/см²				
		0,5	I,0	2,0	4,0	8,0
Грунтовая паста	I,5I	98	II8	I32	I46	I58
Образцы грунта,	I,66	3,I	9,3	I4,3	26,8	43,6
уплотненного	I,69	5,0	I2,5	I7,5	28,2	42,7
укаткой	I,7I	6,3	II,4	I7,7	27,2	42,4
	I,78	3,3	6,6	I3,2	I6,6	27,8
	I,85	3,4	4,8	9,6	I3,7	22,0

На основании приведенных данных автор заключает, что в условиях укатки грунта также наблюдается "оптимальная плотность", равная в данном случае I,66 г/см³. Однако следует отметить, что заключение автора справедливо лишь при нагрузке до 5÷6 кг/см². При давлении 8 кг/см² наблюдается закономерное

снижение модуля осадки с повышением плотности грунта, причем величина этого модуля у образца, уплотненного до "оптимальной плотности", значительно превышает допустимое значение. Вместе с тем, при любых значениях исходной плотности с повышением давления модуль осадки увеличивается. Следовательно, рассматриваемая рекомендация нормы плотности лессовых грунтов не применима в условиях укатки грунта при строительстве высоконапорных плотин, где плотность назначается в таких пределах, при которых осадка сооружения в результате самоуплотнения грунта не превышает 2% от его высоты /2; 4/.

С целью расчета нормы плотности водонепроницаемого элемента высоконапорных укатанных плотин в отделе организации и механизации водохозяйственных работ САНИИРИ проведены исследования уплотняемости и сжимаемости лессовых грунтов, отобранных в различных районах Средней Азии. Основные характеристики этих грунтов приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Гранулометрический состав грунтов

№ грунта	Наименование грунта	Размер фракций, мм					
		1,00-0,25	0,25-0,10	0,10-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	<0,005
		содержание в %					
I.	Суглинок из Аламедина	I,0	I,6	4,0	49,6	I7,4	26,4
2.	Суглинок из Южно-Сурхана	0,5	2,0	0,3	83,2	4,0	I0,0
2а.	Супесь из Южно-Сурхана	0,6	I,2	7,4	8I,3	3,8	5,7
3.	Суглинок из Пачкамара	I,7	4,6	I2,3	26,2	25,4	29,8
3а.	Супесь из Пачкамара	0,4	I,0	I2,7	49,I	25,3	II,5

Методика исследований была разработана с учетом рекомендации Рождественского Е.Д. /5/ о том, что компрессионные свойства грунтов должны устанавливаться на образцах, изготовленных таким способом, каким предполагается производить ук-

ладку грунта при возведении сооружения.

Учитывая современное состояние механизации уплотнительных работ при строительстве земляных плотин, образцы для испытания были отобраны из опытных насыпей, возведенных послойной укаткой пневмошинными катками. Варьированием числа проходов катка по одному следу достигалась необходимая плотность грунтов, образцы которых подвергались компрессионным испытаниям на приборе одноосного сжатия. Влажность грунтов при уплотнении составляла I4,0+I6,5%.

Таблица 3

Показатели водно-физических свойств исследованных грунтов

№ грунта	Удельный вес, г/см³	Максимальная молекулярная влагоемкость (ММВ), %	Верхний предел пластичности, %	Нижний предел пластичности, %	Число пластичности, %
I.	2,7I	I3,8	28,0	I7,0	II
2.	2,69	I3,5	29,0	I7,0	I2
2а.	2,69	I2,9	30,0	26,0	4
3.	2,70	I3,4	27,0	I5,0	I2
3а.	2,69	I3,I	25,0	I9,0	6

Испытания проводились при давлении до I6 кг/см^2 с водонасыщением образцов до приложения нагрузки. Результаты испытания образцов с исходной плотностью I,65 г/см^3 приведены на графике рис.I, из которого следует:

I. Сжимаемость лессовых грунтов, уплотненных до плотности, близкой к "оптимальной", в большинстве случаев при небольших давлениях (до 4 кг/см^2) практически мало зависит от свойств грунтов.

2. С повышением нагрузки нагляднее проявляется влияние этих свойств на сжимаемость. Причем характерно то, что грунты с меньшей величиной верхнего предела пластичности сжимаются больше при одной и той же нагрузке. Отсутствие какой-либо свя-

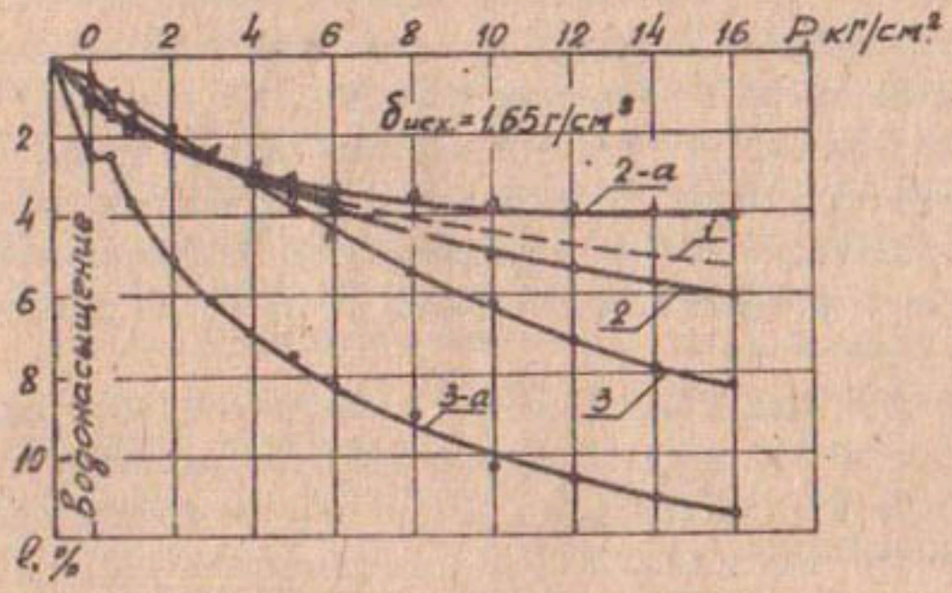


Рис.I.Зависимость деформации "ℓ" от давления "р" при одноосном сжатии образцов.

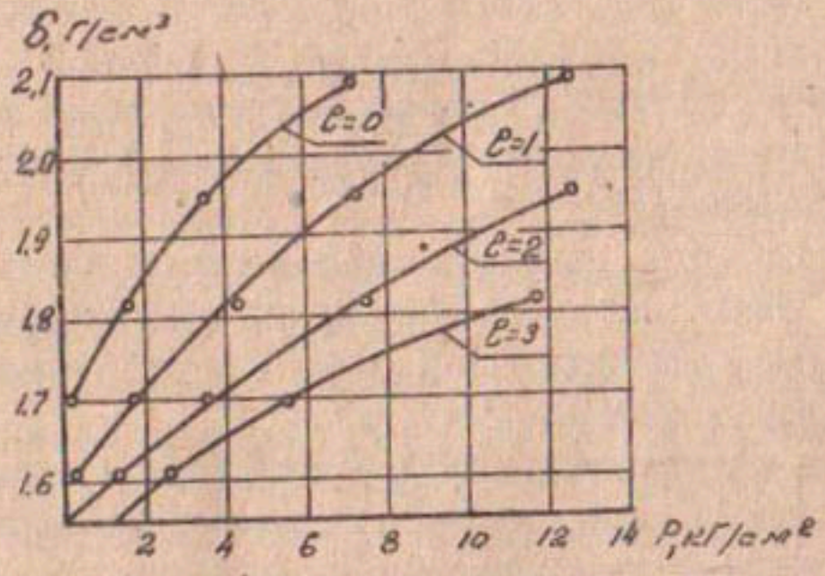


Рис.2.Зависимость нормы плотности "δ" грунта № 3 от нагрузки "р" (ℓ -относительная деформация в %).

зи между гранулометрическим составом грунтов и их сжимаемостью объясняется преобладающим влиянием солевого комплекса. Химическим анализом образцов выявлено относительно высокое содержание хлористого натрия (около I,0%) в грунтах № 3 и № 3а, которые обладают более высокой сжимаемостью. Полученная взаимосвязь между верхним пределом пластичности, содержанием хлористого натрия и сжимаемостью подтверждается результатами исследования влияния солей на свойства глинистых грунтов /6/.

3. При давлении свыше 6 кг/см^2 сжимаемость лессовых грунтов превосходит 3% и почти пропорционально растет с дальнейшим повышением давления до I6 кг/см^2. Следовательно при строительстве высоконапорных плотин плотность грунтов, особенно в нижних частях сооружения, должна быть значительно выше I,65 г/см^3.

Для подтверждения полученных данных о поведении уплотненного грунта под нагрузкой нами проведены компрессионные испытания образцов, отобранных из опытной насыпи, возведенной из грунта № 3 с укаткой груженым автоскрепером Д-357Г. Влажность при укатке соответствовала коэффициенту водонасыщения уплотненного грунта в пределах 0,95÷0,98. Образцы имели плотность I,60÷I,62; I,69÷I,7I; I,8I÷I,83; I,94÷I,96 и 2,08÷2,I0 г/см^3. Испытания проводились с водонасыщением до приложения нагрузки с арретиром, предотвращающим набухание образца.

Установлено, что, если образцы с исходной плотностью I,60÷I,62 г/см^3 только от водонасыщения уже деформируются на 0,8%, то образцы с плотностью 2,08÷2,I0 г/см^3 начинают сжиматься лишь при нагрузке 7,2 кг/см^2.

Обработка полученных результатов позволила установить необходимую плотность, при которой деформация сжатия под действием приложенного давления соответствует заданному значению (рис.2). Приведенная зависимость показывает, что при заданной величине осадки плотность укладываемого в сооружение грунта должна возрастать вместе с ростом давления от вышележащих слоев.

Нет сомнения в том, что проведение перед началом строительства аналогичных испытаний обеспечит достаточно высокую точность установления нормы плотности лессовых грунтов, укладываемых в тело высоконапорных укатанных плотин. Однако эти испытания требуют возведения опытных насыпей или же выполнения трудоемких работ по уплотнению грунтов в условиях, идентичных производственным, что не всегда целесообразно, особенно в стадии составления проектного задания.

С целью разработки более простого и в то же время достаточно надежного способа расчета нормы плотности были поставлены опыты по изучению уплотняемости грунта № 3 с помощью прибора ДорНИИ для стандартного уплотнения. Опыты проводились по общепринятой методике /7/. Удары по грунту наносились через шабот, покрывающий поверхность грунта в стакане, часть энергии при этом теряется в массе шабота со стойкой. Коэффициент эффективности удара груза по грунту через шабот, учитывающий потери кинетической энергии, может быть определен по формуле

$$K_{эф} = \frac{1}{1+\frac{Q}{P}} - \frac{e^2}{1+\frac{Q}{P}}, \qquad (2)$$

где P - вес шабота и стойки, равный 2,9 кг;

Q - вес груза, равный 2,5 кг;

e - коэффициент восстановления при ударе.

По данным Наумеца Н.И. /8/, при сбрасывании груза весом до 10 кг с высоты 30 см среднее значение $K_{эф} = 0{,}26$. В проведенных опытах $K_{эф} = 0{,}50$.

На графике рис.3 приведены результаты опытов, в которых величина затраченной работы уплотнения составляла 0,045 кГм/см^3. При сопоставлении этого графика с результатами компрессионных испытаний (см.рис.1) обращает на себя внимание то, что более сжимаемые грунты обладают большей уплотняемостью. Следовательно, по уплотняемости в какой-то мере можно судить о норме плотности. Так, например, согласно графику рис.3, если грунту № 1 необходимо придать плотность 1,70 г/см^3,

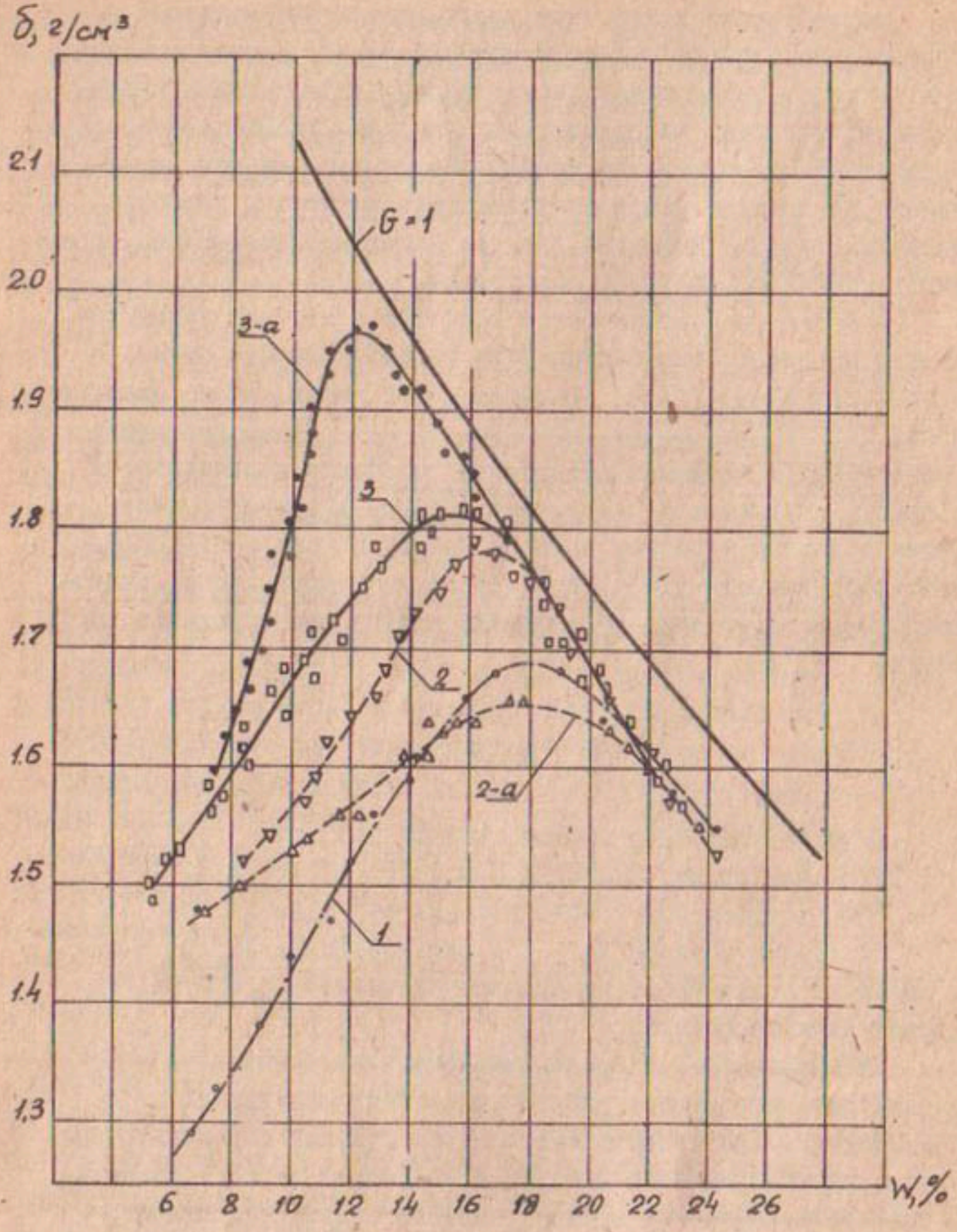


Рис.3.Зависимость плотности исследуемых грунтов " δ " от их влажности " W " при работе уплотнения 0,045кг/см^3: I,2 и т.д.-номера исследуемых грунтов.

то при использовании грунта № 3 для тех же условий требуемая плотность — порядка I,85 г/см^3.

На графике видно, что нисходящие ветви кривых "плотность-влажность" всех исследованных грунтов практически сливаются в одну общую кривую, проходящую на некотором расстоянии от кривой грунтовой массы "скелет-вода" (G = I). Разность абсцисс между этими кривыми выражает численное значение объема пор, занятых защемленным воздухом. По данным опытов, вне зависимости от содержания глинистых фракций, составлявших 5,7-26,4%, этот объем находится в интервале I÷4%.

Опыты, проведенные с грунтом № 3 (рис.4), показали, что объем защемленного воздуха в уплотненном грунте зависит в основном от достигнутой плотности. При увеличении ее объем уменьшается. Однако плотность, обеспечивающая минимальный объем защемленного воздуха (при данной работе уплотнения), как видно из графика, несколько ниже максимально достигнутой. Поэтому, очевидно, не следует добиваться минимального значения объема защемленного воздуха, выгоднее его нормировать с учетом получения большей плотности при данной работе уплотнения. Тогда расчетный объем пор, занятый защемленным воздухом, может быть найден как разность абсцисс между кривой грунтобой массы и линией АВ, проведенной через вершины кривых "плотность-влажность". При повышении плотности от I,65 г/см^3 до I,95 г/см^3 этот объем снижается от 4,5% до I,5%. Аналогичные результаты получены Хархутой Н.Я. /9/. Небольшие расхождения в значениях этих объемов находятся в пределах точности опытов.

Кривые "плотность-влажность" при различной работе уплотнения могут быть обобщены и представлены в виде зависимости плотности грунта от затраченной работы уплотнения (рис.5).

Сопоставляя эту зависимость с графиком рис.2, можно заметить, что, если численные значения работы в кГ·см/см^3 приравнять к нормальной нагрузке при компрессионном испытании, то значения максимальной плотности в зависимости от работы уплотнения будут соответствовать норме плотности грунта в те-

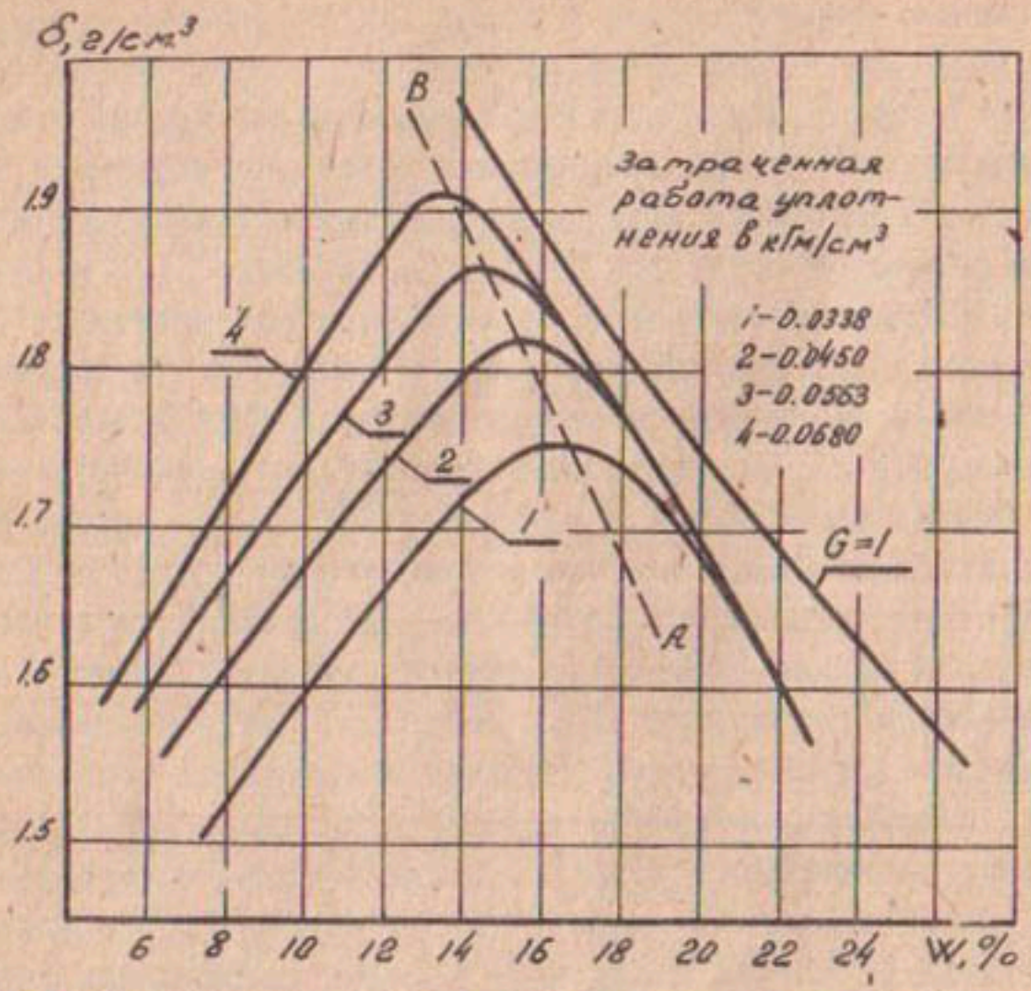


Рис.4.Зависимость плотности грунта № 3 " δ " от его влажности " W " при различной работе уплотнения.

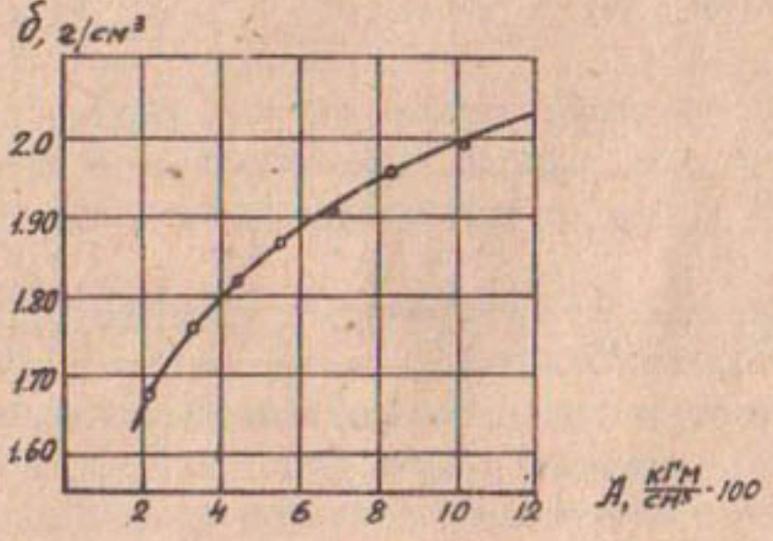


Рис.5.Зависимость плотности грунта " δ " от затраченной работы уплотнения " A ".

ле плотины, в зависимости от нагрузки при допускаемой величине относительной деформации I,0÷2,0%.

Для установления нормы плотности рекомендуемым способом испытания проводились с помощью простейшего переносного контейнера как в лабораторных, так и полевых условиях в десятки раз быстрее, чем методом компрессии. Кроме того, этим способом возможно одновременно с нормой плотности непосредственно по графику (см.рис.4) устанавливать оптимальную влажность грунта, имеющую большое значение при механическом уплотнении лессовых грунтов.

Теоретически оптимальная влажность может быть определена из условия получения грунтовой массы "скелет-вода", выражаемого уравнением

$$a = \frac{W \cdot \delta \cdot \delta_T}{\delta - \delta_T} \cdot 100\%,$$

где a - относительная влажность;
W - влажность грунта;
δ - удельный вес грунта, г/см^3;
δ_T - требуемая (норма) плотность, г/см^3.
(В данной формуле воды - I).
Откуда

$$W = \frac{100(\delta - \delta_T)}{\delta \cdot \delta_T} \qquad (3)$$

Учитывая неизбежность присутствия воздуха в уплотненном грунте, оптимальная влажность может быть определена по формуле

$$W_0 = \frac{100}{\delta_T} - \left(\frac{100}{\delta} + V\right). \qquad (4)$$

где V - объем пор, занятых защемленным воздухом. В зависимости от плотности V = I,5÷4,5%.

Так как δ - величина постоянная для данного грунта, а V - для данной плотности, то W_0 зависит только от δ_T.

Ввиду того, что W_0 является максимально допустимой величиной для заданной плотности, при влажности, превышающей оп-

тимальную, грунт не достигает требуемой плотности. Если же влажность ниже оптимальной, то для достижения требуемой плотности по всему слою уплотнения необходимо затратить больше работы. Но в этом случае плотность грунта у поверхности выше, чем у подошвы слоя, вследствие чего получается слоистое сложение, при котором положение кривой депрессии будет значительно выше, чем в однородной среде.

Следовательно, расчетная по формуле (4) оптимальная влажность не только обеспечивает достижение требуемой плотности грунта при минимальных затратах для уплотнения, но и является практически единственным средством, предотвращающим анизотропность водонепроницаемого элемента земляных укатанных плотин.

Выводы

1. Для определения требуемой плотности лессовых грунтов, укладываемых в водонепроницаемый элемент высоконапорных укатанных плотин, основным критерием должна являться заданная величина сжатия под действием веса вышележащих слоев грунта.

2. При допускаемой осадке плотины 1,0÷2,0% от ее высоты норма плотности лессовых грунтов в теле плотины может быть установлена модифицированным методом стандартного уплотнения, при котором каждая серия опытов проводится с затратой удельной работы уплотнения (в $кГм/см^3$), численно равной давлению от веса вышележащих слоев грунта в сооружении, уменьшенному в 100 раз.

3. Влажность уплотняемых лессовых грунтов должна быть максимально допустимой для заданной плотности с учетом неизбежности присутствия защемленного воздуха в объеме 1,5÷4,5%. Такая влажность, названная оптимальной, определяется расчетным путем при известных значениях удельного веса и требуемой плотности грунта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ничипорович А.А. Проектирование и строительство плотин из местных материалов, М., Изд-во "Энергия", 1967.
2. Песиков Е.С. Рекомендуемая плотность лессовидного грунта в насыпных плотинах и дамбах, возводимых механическим уплотнением, "Вопросы гидротехники", вып.8, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1962.
3. СНиП П-И. 4-62. Плотины земляные насыпные. Нормы проектирования.
4. Журавлев Г.И. Земляные плотины, М., Изд-во "Колос", 1966.
5. Рождественский Е.Д. Физико-технические свойства лессовых грунтов Узбекистана, Ташкент, 1960.
6. Ступакова Л.Ф. Исследование структурно-механических свойств засоленных грунтов с целью использования их в дорожном строительстве, Автореф.дис. на соискание учен.степени канд.техн.наук, ТашПИ, 1967.
7. Телегин М.Я. Методы уплотнения дорожных насыпей, М., Дориздат, 1952.
8. Наумец Н.И. Уплотняющие машины в строительстве и производстве строительных изделий. Теория и расчет основных параметров. Под редакцией Кирковича С.В. и Наумеца Н.И., Куйбышев, 1962.
9. Хархута Н.Я., Васильев Ю.М. Устойчивость и уплотнение грунтов дорожных насыпей, М., Автотрансиздат, 1964.

У.Ю.ПУЛАТОВ

КОЛЬМАТАЦИЯ КАНАЛОВ ИСКУССТВЕННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ МУТНОСТИ ПОТОКА СРЕДСТВАМИ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ

В свете решений майского (1966 г.) Пленума ЦК КПСС "О широком развитии мелиорации земель для получения высоких и устойчивых урожаев зерновых и других сельскохозяйственных культур" важное значение приобретают работы по уменьшению потерь воды из каналов. Пленум ЦК КПСС указал, что имеет место низкое качество работ по мелиорации, принижение значения дренажа и проведения мероприятий по уменьшению потерь воды в оросительных системах.

Несмотря на это, вопросу предотвращения фильтрации воды из каналов не уделяется должного внимания. Протяженность межхозяйственных каналов, имеющих противофильтрационную, в основном бетонную и железобетонную одежды, не превышает в СССР 2-3% общей длины. Изготовление такой одежды трудоемко и дорогостоящее. Тем не менее, практически не применяется такой простой и экономичный способ борьбы с потерями из каналов, как кольматаж, который особенно эффективен в условиях легкопроницаемых грунтов.

В определенных условиях, когда канал на десятках и сотнях километрах пересекает песчаную зону, с кольматажем не может конкурировать ни один из существующих способов борьбы с потерями на фильтрацию. Однако, богатая наша ирригационная практика не знает примеров применения искусственной кольматации как инженерного решения, с привлечением современных средств строительства. (Здесь нами упускаются отдельные случаи искусственной кольматации небольших каналов, в основном, носившие опытный характер, когда вручную или примитивными средствами повышалась мутность потока).

Одновременно опытами установлено, что при наличии мутности, потери воды на фильтрацию резко сокращаются по сравнению с чистой водой. Наблюдение за работой каналов, проложенных в песках (каналы Бассага-Керкинский, Пахта-Арпа и др)

показало, что фактические потери воды из них на фильтрацию в I,5-3 раза меньше расчетных /I/. Можно привести случаи, когда каналы в грунтах с высокой водопроницаемостью в результате самокольматации имели фактические потери в 25 раз ниже расчетных /2/.

Специальными исследованиями ВНИИГиМа /3,4/, выполненными более 25 лет тому назад и являющимися пока единственными в своем роде, опровергнуто бытовавшее ошибочное мнение о кольматации, как о процессе, в результате которого по смоченному периметру канала наносы, осаждаясь, образуют тонкий слой глинистого грунта в виде пленки. Кольматация происходит за счет вмывания в поры песка, слагающего ложе канала, частиц, находящихся в потоке. В результате этих исследований получены ценные показатели, которые позволяют, пусть в первом приближении, решить ряд задач, связанных с практическим применением кольматации как способа борьбы с фильтрацией. Некоторые методические погрешности, допущенные при постановке этих исследований /5/, на наш взгляд, не повлияли на конечные рекомендации.

Развернувшееся в последние годы водохозяйственное строительство открывает большие перспективы для широкого внедрения искусственной кольматации каналов. Такие уникальные водоводы как Каршинский магистральный канал, вторая очередь Амубухарского канала, отводящие каналы Тюя-Муюнского водохранилища со своими ответвлениями - это неполный перечень крупных водных трактов, грунтовые условия которых благоприятны для их искусственной кольматации.

Большая протяженность упомянутых каналов и наличие во многих случаях водохранилищ способствуют осветлению потока, что практически делает малоэффективной или совершенно исключает самокольматацию. Кроме этого, процесс кольматации наиболее эффективно протекает лишь при определенных соотношениях размеров частиц кольматируемого песка и взвешенных наносов, содержащихся в потоке, что не всегда может быть соблюдено при самокольматации. Эта особенность, выражающаяся в невозможности регулирования процесса самокольматации, служит, на наш взгляд, главной и основной причиной, почему этот

способ борьбы с потерями воды на фильтрацию не взят на вооружение проектных и строительных водохозяйственных организаций.

Следовательно, кольматация каналов на современном этапе ирригационного строительства может быть эффективным средством борьбы с потерями на фильтрацию только при регулировании качественного и количественного состава взвешенных частиц (мутности) потока.

В этом свете на первый план выступают способы и средства производства работ по искусственной кольматации каналов, операции, связанные с созданием требуемой по насыщенности и гранулометрическому составу мутности потока, технологии выполнения и организация осуществления процесса по трассе ирригационного сооружения. Только при подобном подходе к рассматриваемому способу уменьшения потерь воды из оросительной сети, как одному из обязательных строительных операций технологического процесса прокладки каналов, выполняемого по технически обоснованному проекту, можно нерегулируемый стихийно и длительно протекаемый процесс самокольматации превратить в комплексно-механизированный индустриальный способ экранизации каналов, искусственной кольматацией их ложа.

Специалистами САНИИРИ неоднократно высказывалось сомнение в рациональности применения в ряде случаев бетонной облицовки, где по многим показателям можно было отдать предпочтение кольматации. В частности, предложение чл.-корр. Академии наук УзССР Алимова Р.А. о кольматаже Каршинского магистрального канала взамен принятой проектом железобетонной одежды.

Особую окраску в свете реальности осуществления принимает этот способ борьбы с фильтрацией воды из оросительной сети сейчас, когда институтом выдвинуто конкретное предложение о возможности форсированного искусственного кольматажа каналов, путем использования высокопроизводительных средств гидромеханизации.

В настоящее время возможна практическая реализация предложенного САНИИРИ форсированного способа искусственной кольматации на Левобережном распределителе Каршинского ма-

гистрального канала, проектирование и строительство которого намечено осуществить в 1972 году, с целью быстрой переброски амударьинской воды в зону существующего орошения бассейна р.Кашкадарья и освоения новых земель первой очереди Каршинской степи.

Согласно проекту Левобережный распределитель берет начало от верхнего бьефа четвертой насосной станции на Головной части Каршинского магистрального канала. Начальные 63 км до пересечения с имеющимся Южным коллектором распределитель проходит транзитом по пустыне в условиях глубокого залегания грунтовых вод и сильнопроницаемых песков, а конечные 42 км - по зоне будущего орошения. Антифильтрационное мероприятие - кольматаж проектируется осуществить на начальном 63 км участке канала.

Технические параметры канала

Головной расход	- 65 $м^3$/сек
Глубина наполнения	- 5,3 м
Ширина по дну	- 6 м
Запас в дамбах над горизонтом воды	- I м
Крутизна откосов	- I:3,5
Уклон канала	- 0,00003
Коэффициент шероховатости русла	- 0,0225
Скорость течения воды	- 0,5 м/сек
Проектируемый к.п.д.	- 0,9

Сущность предложенного способа искусственного кольматажа каналов заключается в насыщении потока глинистым раствором ("пульпой") при помощи гидромеханизации - плавучими землесосными снарядами или гидромониторами. При расположении глинистых карьеров на значительном отдалении, транспорт грунта к средствам гидромеханизации производится автосамосвалами или самоходными скреперами. При допустимых расстояниях грунт в карьере разрабывается землесосами или гидромониторами, и по напорным трубопроводам или открытым лоткам пульпа подается в канал. Выбор способа разработки грунта и его

транспорта в каждом отдельном случае базируется на технико-экономических расчетах.

Потребная производительность средств механизации, занятых на приготовлении и подаче раствора в канал, устанавливается в зависимости от естественной мутности потока ρ_0, мутности, требуемой для кольматации $\rho_т$ и расхода воды в канале Q.

Установлено, что максимально допустимая мутность потока кольматируемых каналов не должна быть больше $\rho_т$ =5 кг/м^3, когда ложе сложено из крупных песков, и $\rho_т$ = 2 кг/м^3, когда ложе сложено из средних и мелких песков /4/. Естественная мутность потока в голове Левобережного распределителя согласно расчетам будет в пределах ρ_0 =0,5 кг/м^3 (данные И.И.Горошкова).

Количество грунта W, подаваемое в канал в час, или техническая производительность машин $П_т$ может быть определена по следующей формуле:

$$П_т = W = 3{,}6\,\frac{(\rho_т - \rho_0)\cdot Q}{\delta}\ \text{м}^3/\text{ч}, \qquad (I)$$

где δ – объемный вес скелета грунта, обычно принимаемый равным I,5 т/м^3.

По формуле (I) определяем:

$\rho_т$ = 5 кг/м^3	$П_т = W$ = 700 м^3/ч;
$\rho_т$ = 4 кг/м^3	$П_т = W$ = 550 м^3/ч;
$\rho_т$ = 3 кг/м^3	$П_т = W$ = 390 м^3/ч;
$\rho_т$ = 2 кг/м^3	$П_т = W$ = 235 м^3/ч.

Полученные значения W позволяют подобрать потребное число машин для подачи грунто-раствора в канал. Если подавать пульпу землесосными плавучими снарядами, то при $\rho_т$ = 5 кг/м^3 необходимо 7 машин ЗРС-I2СМ /6/; при $\rho_т$ =4 кг/м^3 – 5 машин ЗРС-I2СМ и I машина МЗ-5 и т.д.

Все приведенные в статье расчеты имеют в основном цель осветить методическую сторону вопроса; имея же фактические данные по рассматриваемому каналу можно легко и быстро сделать пересчет.

Для определения количества грунта, необходимого для кольматации всего смоченного периметра канала, воспользуемся данными ВНИИГиМа /4/ (таблица).

Таблица

Грунты	:Диаметр частиц : песка, мм	:Количество глины :на I м^2 в кг
Крупные пески	I–0,5	I8
Средние пески	0,5–0,25	9
Мелкие пески	0,25–0,I0	4,5

Зная виды грунтов по трассе канала, по таблице можно определить необходимое количество глины. Например, если смоченный периметр 45 м, а ложе складывают крупные пески, то на весь 63 км участок при кольматации в стоячей воде нужно 34000 м^3 грунта. При кольматации действующего канала грунта потребуется больше. Ориентировочное количество грунта, которое поток унесет за пределы кольматируемого участка можно определить следующим методом.

Принимаем: $\rho_г$ = 4 кг/м^3, усредненный коэффициент фильтрации $K_ф$ = 4 м/сутки. В этом случае, чтобы закольматировать I м^2 поверхности канала надо профильтровать через него I8:4 = 4,5 м^3 воды; При $K_ф$ = 4 м/сутки для этого потребуется 27 час. Если не учитывать потери из канала на фильтрацию, тогда 550х27=I5000 м^3 грунта поток унесет за пределы кольматируемого участка.

Глинистые грунты обычно содержат определенный процент крупных фракций – например песчаные, которые осядут на дно в районе подачи пульпы и для предупреждения заиления канала их необходимо тут же удалять. Объем этих работ можно сравнительно точно определить по гранулометрическому составу карьерных грунтов. Для настоящих расчетов принимаем этот объем равным 20% от общего объема потребного грунта. Тогда необходимый для кольматации канала объем грунта составит (34000+I5000)·I,2= = 60000 м^3.

Общее время на кольматацию каналов при $\rho_г$ =4 кг/м^3 составит: при работе в одну смену 22 суток, при двухсменной ра-

боте 11-12 суток. Круглосуточная работа позволит завершить работу за 8 суток. (Расчет сделан, исходя из коэффициента использования землесосных снарядов в течение смены $K_д$=0,75, а $K_{пр.х}$=0,8).

Подсчет потребного для кольматации грунта произведен, исходя из условия незаиляемости канала, и считая, что взвешенные глинистые частицы вносятся в поры песка фильтрационными токами. На практике, при такой большой протяженности канала заиление пусть в малой степени будет происходить. В этом нетрудно убедиться, сделав элементарный расчет по общеизвестной формуле установления длины отстойников

$$\ell \geq 2 V_{кр} \frac{h}{U}, \text{ м} \qquad (2)$$

где ℓ - длина отстойника, м;
h - средняя глубина воды в отстойнике, м;
U - гидравлическая крупность, м/сек;
$V_{кр}$ - критическая скорость заиления, соответствующая глубине воды в канале, м/сек.

Одним из методов борьбы с неравномерным отложением глинистых наносов может служить транспортированное волоком по дну канала металлического троса, диаметром 22-25 мм с навешенными на него взмучивающими грузами, при помощи двух гусеничных тракторов, двигающихся по обоим берегам канала.

Важным в организации работ по кольматации является установление или вернее выбор способа подачи пульпы в канал, который может быть одноточечным (головным) или многоточечным (линейным). В первом случае глинистый раствор вводится в поток только в голове канала или кольматируемого участка, во втором - в нескольких местах. Одноточечная подача наиболее выгодна при расположении глинистого карьера выше головы канала или участка; многоточечная - когда добыча глины производится в хвосте водовода.

Об успешном применении искусственной кольматации на крупных ирригационных каналах можно говорить всерьез только в том случае, если есть возможность полностью механизировать

все операции технологического процесса кольматажа, т.е. когда для их выполнения имеются в наличии соответствующие по конструктивному исполнению и мощности машины и механизмы. Для рассматриваемого способа основными машинами являются плавучие землесосные снаряды, в функцию которых входит разработка грунта, приготовление глинистого раствора (пульпы) и в нужных количествах подача его в поток. Этими же машинами удаляются крупные фракции, содержащиеся в глинистом растворе, осевшие в районе подачи пульпы в канал.

Согласно новой системе машин для комплексной механизации гидромелиоративных работ на 1971-1975 годы /6/, отечественной промышленностью выпускаются и будут освоены производством в ближайшие 2-3 года землесосные снаряды на плаву, с автономными дизель-электрическими двигателями, производительностью по грунту 50, 100, 130, 150 и 250 $м^3$/ч и электрические снаряды с производительностью 300-375 $м^3$/ч. Поэтому на первых шагах внедрения кольматажа в практику ирригационного строительства, комплексная механизация этих работ полностью обеспечивается перечисленным составом машин.

Затронутые выше вопросы, связанные с расчетом некоторых элементов искусственной кольматации каналов, разработкой технологии производства работ и выбором средств механизации являются первыми приближенными наметками решения этой новой большой и важной задачи. Несомненно, что только практическое осуществление рекомендуемого способа искусственной кольматации, например, на Левобережном распределителе Каршинского магистрального канала или другом аналогичном объекте даст богатый фактический материал для технико-экономической оценки эффективности способа и уточнения многих расчетных показателей и характеристик. Поэтому большая роль отводится научно-исследовательским организациям, в частности САНИИРИ, в деле реализации изложенной идеи на практике - при составлении проекта, строительстве и дальнейшем наблюдении при эксплуатации кольматированного канала.

ЛИТЕРАТУРА

I. Шаумян В.А. Основы эксплуатации оросительных и осушительных систем, Сельхозгиз, М., 1956.

2. Шаров И.А. Эксплуатация гидромелиоративных систем, Изд-во "Колос", М., 1968.

3. Неговская Т.А. Кольматация как метод борьбы с фильтрацией из каналов, ж."Гидротехническое строительство", № 7, 1948.

4. Пикалов Ф.И., Неговская Т.А. и др. Способы борьбы с потерями воды на фильтрацию из оросительных каналов, Сельхозгиз, М., 1952.

5. Орнатский Н.В., Сергеев Е.М., Шехтман Ю.М. Исследование процесса кольматации песков, Изд-во Московского университета, 1955.

6. Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства, ч.III, Мелиорация, М., 1971.

А.А.ЛЬВОВ, Ю.И.КИМ

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ГРУНТОЗАБОРА ЗЕМЛЕСОСНЫМИ СНАРЯДАМИ

Гидромеханизация - один из способов производства земляных работ - широко используется в народном хозяйстве. По эффективности затрат на I $м^3$ разрабатываемого грунта гидромеханизация во многих случаях конкурентноспособна с другими, так называемыми "сухими" способами производства земляных работ. А на таких работах, как дноуглубление различных водотоков, очистка крупных оросительных каналов и отстойников от наносов, добыча полезных ископаемых в естественно обводненных карьерах и пр., применение средств гидромеханизации является экономически наиболее выгодным, а порой и единственно возможным. Здесь используется большой парк плавучих землесосных снарядов самых различных типов. Дальнейшее совершенствование их конструкций и методов разработки грунта является одной из актуальных задач современного технического прогресса в области гидромеханизации.

Одним из значительных резервов роста производительности действующих машин является совершенствование их рабочих органов - грунтозаборных устройств. Именно здесь формируется пульпа той или иной консистенции, во многом предопределяющая производительность землесосных снарядов по грунту. Если по условиям гидротранспорта землесосные агрегаты успешно перекачивают пульпу консистенцией I:2, то по условиям грунтозабора устойчивая консистенция пульпы на практике выше I:6 - I:I0 обеспечивается пока сравнительно редко. Это объясняется,с одной стороны,весьма ограниченной всасывающей энергией землесосного агрегата,максимальная величина которой лимитируется предельной вакуумметрической высотой всасывания, и, с другой стороны, недостаточно рациональным использованием этой энергии, вследствие несовершенства конструктивных и технологических параметров всасывающей линии и прежде всего грунтозаборного устройства.

Основываясь на физической сущности процесса грунтозабора,можно в кратком виде охарактеризовать его особенности

и сформулировать основные требования, предъявляемые к конструкциям грунтозаборных устройств.

Процесс грунтозабора складывается из двух операций: отделение грунта от массива и всасывание его в виде водогрунтовой смеси в зев всасывающего наконечника.

Для получения наиболее качественного грунтозабора необходимо стремиться к совершенствованию как процесса разрыхления грунта, так и процесса всасывания его. Однако основным процессом, диктующим в конечном итоге количество засасываемого грунта является процесс всасывания, мероприятия же по разрыхлению грунта являются подготовительными и влияют на качество грунтозабора только через процесс всасывания, обеспечивая для его протекания те или иные условия. Всасывающие потоки образуют вблизи зева всасывающего наконечника так называемую зону грунтозабора, т.е. зону, в пределах которой наблюдается активный захват всасывающими потоками грунта. Размеры этой зоны крайне малы, и скорости всасывающих потоков, по мере удаления от зева наконечника, снижаются весьма интенсивно. Наряду с этим, в зоне грунтозабора с грунтом взаимодействуют не все всасывающие потоки, а только наиболее приближенные к забою.

Соответственно вышеизложенному, энергия всасывания в зоне грунтозабора затрачивается на отделение грунта от массива (при эрозийной разработке грунтов), местные потери входа и всасывание водо-грунтовой смеси. Из всех затрат наиболее полезными являются затраты на всасывание гидросмеси, однако на практике значительная часть всасывающей энергии тратится на местные потери входа и отрыв грунта от забоя.

Местные потери всасывающей энергии в зоне грунтозабора обуславливаются тяжелыми гидродинамическими условиями движения всасывающих потоков в районе зева наконечника (наличием резких сужений, расширений, поворотов, противотоков, завихрений и пр.) усугубляющимися при эрозийной разработке трудноразмываемых грунтов необходимостью создания значительных размывающих скоростей для отделения грунта от массива.

Грунтозаборное устройство, отвечающее требованиям получения наиболее качественного грунтозабора, должно обеспечить:

а) активную подготовку грунта к всасыванию дополнительными средствами;

б) условия, способствующие максимальному массообмену всасывающих потоков с разрыхленным грунтом;

в) по возможности более свободное движение всасывающих потоков в зев наконечника.

Наряду с требованиями обеспечения качественного грунтозабора рабочий орган должен отвечать, согласно целевому назначению, соответствующим методам разработки грунта, обуславливаемым теми или иными задачами производства.

С учетом выполнения этих требований в отделе организации и механизации водохозяйственных работ САНИИРИ была разработана принципиальная схема нового грунтозаборного устройства землесосного снаряда, позволяющего в определенных условиях значительно интенсифицировать процесс грунтозабора. Отличительной особенностью конструкции является наличие вогнутого со стороны забоя экрана, ограничивающего зев всасывающего наконечника. Для разрыхления и взвешивания грунта экран по периметру снабжен гидромониторными насадками.

Процесс разработки грунта данным устройством осуществляется следующим образом. Участок грунта в забое, примыкающий к экрану, интенсивно размывается и взвешивается гидромониторными струями, и всасывающие потоки, протекающие внутри зоны, ограниченной экраном и забоем, интенсивно насыщаются взвешенным грунтом. По мере разработки экран надвигается на забой. Наличие экрана позволяет сосредоточить всасывающие потоки в строго заданной области, а действие гидромониторных струй подготовить грунт в данной области к интенсивному массообмену его с всасывающими потоками. Причем благоприятная в гидродинамическом отношении форма экрана позволяет избежать значительных местных потерь входа.

На базе принципиальной схемы предложенного грунтозаборного устройства разработано несколько модификаций его, предназначенных для эксплуатации в различных условиях на дно-

углубительных работах, очистке оросительных каналов и отстойников от наносов и добыче песчано-гравийных грунтов в поймах рек.

Одной из таких модификаций является грунтозаборное устройство с поворотным экраном и гидрорыхлителем (рис.I), состоящее из всасывающего наконечника I, с шарнирно закрепленным экраном 2, по периметру которого расположен коллектор 3, с гидромониторными насадками 4. Нижние насадки гидрорыхлителя направлены несколько вниз и в процессе работы размывают дно забоя, что позволяет грунтозаборному устройству по мере перемещения заглубляться в грунт. Для разрыхления центральной части забоя, ограниченной экраном, устанавливается несколько дополнительных насадок 5, направленных внутрь экрана. Напорная вода в коллектор подается по трубопроводу 6 через поворотный шарнир 7 и полый кронштейн 8. Экран с гидромониторными насадками может поворачиваться в зависимости от направления папильонирования вокруг вертикальной оси на 180°, что обеспечивает разработку грунта как траншейным, так и папильонажным способами. Поворот осуществляется специальным приводом с помощью гибких тяг.

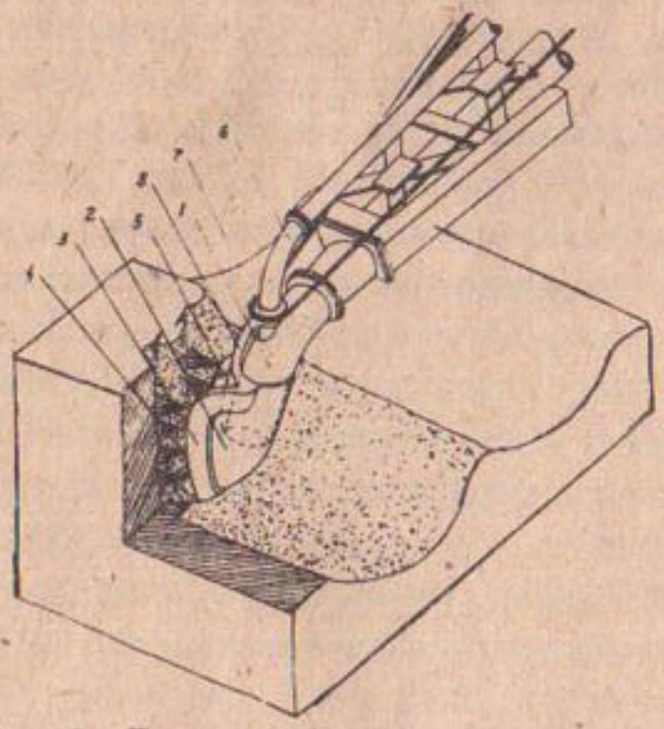


Рис.I. Грунтозаборное устройство с экраном и гидрорыхлителем.

При необходимости разработки грунта тонкими слоями, описываемое грунтозаборное устройство можно закрепить на всасывающей трубе таким образом, чтобы поворот экрана производился вокруг горизонтальной оси (рис.2). К гидромониторным насадкам, расположенным по периметру экрана, добавляются насадки, осуществляющие подгон разрыхляемого грунта к зеву наконечника. Шарнирное устройство гидрорыхлителя обеспечивает при повороте подачу большего количества напорной воды в ту ветвь коллектора, которая оказывается внизу. Как известно,

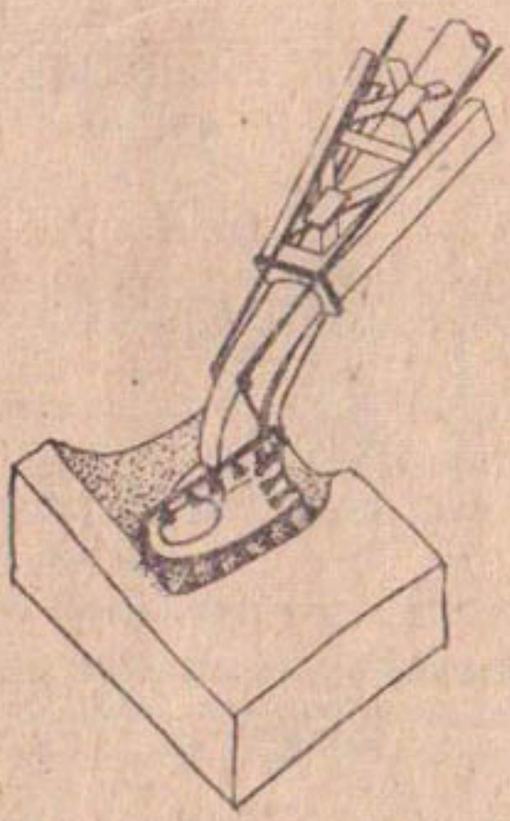


Рис.2. Грунтозаборное устройство с экраном и гидрорыхлителем для разработки грунтов тонкими слоями.

при гидроразмыве связных грунтов требуются повышенные напоры и расходы воды. С целью более эффективного использования размывающей энергии гидромониторных струй предложена конструкция устройства (рис.3), в которой большое количество насадок, расположенных по периметру экрана, заменено несколькими мощными насадками, установленными на подвижном коллек-

торе. В процессе работы коллектор с насадками с помощью гидропривода совершает цикличные движения, поворачиваясь на определенный угол вокруг шарниров, и гидромониторные струи последовательно размывают весь фронт забоя, ограниченного экраном. Принятая схема движения коллектора с гидромониторными насадками позволяет при необходимости закреплять на его ветвях ножи реверсивного типа, дополнительно участвующие в разрыхлении грунта.

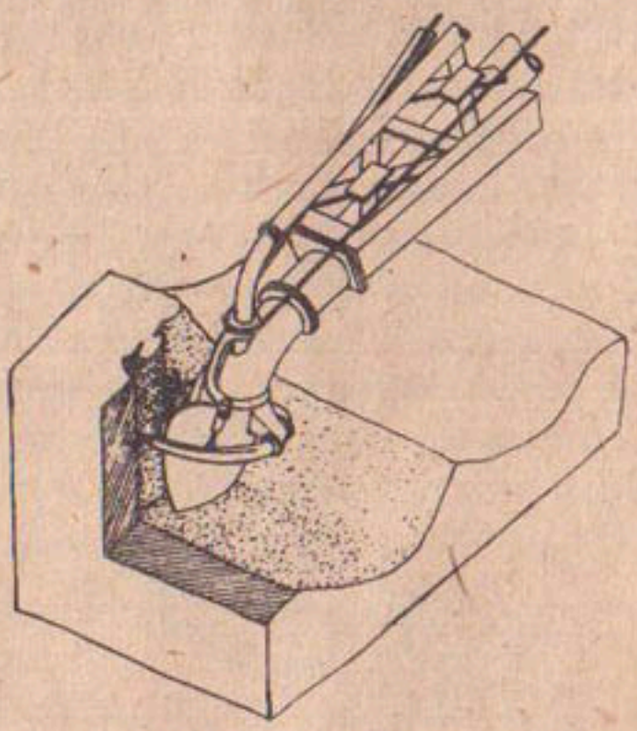


Рис.3. Грунтозаборное устройство с экраном и движущимся гидрорыхлителем.

Как показали исследования опытных образцов грунтозаборных устройств, наличие вогнутого экрана в комплексе с размывающим действием гидромониторных струй обеспечивает подготовку в зоне грунтозабора гидросмеси предельно высокой консистенции, порядка 60% по объему. Это позволяет эффективно применять экран с гидрорыхлителем в комплексе с эжекторными всасывающими наконечниками (рис.4). Конструкция экрана очень удачно компонуется как с эжекторными насадками центрального действия, так и кольцевого.

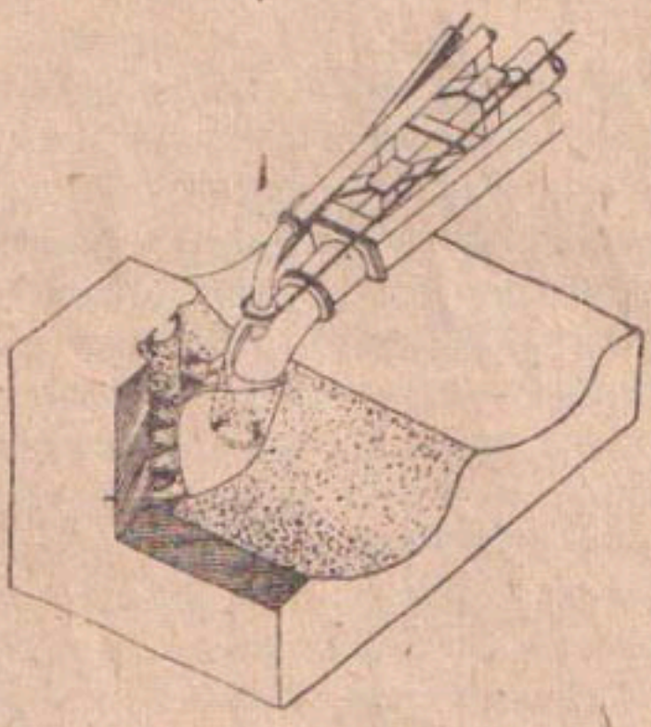


Рис.4. Эжекторное грунтозаборное устройство с экраном и гидрорыхлителем.

На основе принципиальной схемы нового грунтозаборного устройства с вогнутым экраном и гидрорыхлителем разработана его модификация, предназначенная специально для траншейной разработки грунтов (рис.5).

В данном устройстве щелевидный зев всасывающего наконечника I снабжен вогнутым экраном 2. С тыльной части экрана установлен коллектор 3 с гидромониторными насадками 4, вынесенными перед экраном на специальных полых кронштейнах 5.

В процессе разработки грунта коллектор с гидромониторными насадками совершает цикличные движения в вертикальной плоскости, поворачиваясь на определенный угол вокруг шарниров 6. Поворот осуществляется с помощью гидропривода 7. Часть гидромониторных насадок направлена вперед по ходу траншейного перемещения и в процессе работы размывает весь фронт забоя. Остальные насадки направлены в сторону зева всасывающего наконечника и осуществляют подгон разрыхленного грунта непосредственно в зону всасывания.

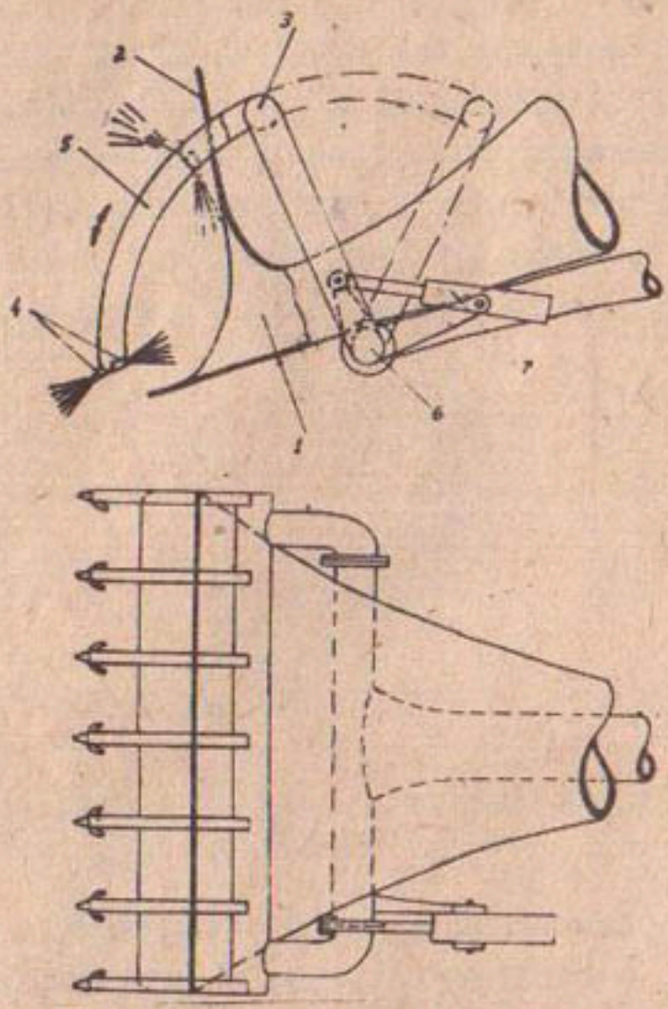


Рис.5. Грунтозаборное устройство с экраном и движущимся гидрорыхлителем для траншейной разработки грунтов.

Известно, что вследствие чрезмерного расширения фронта всасывания, щелевидные всасывающие наконечники обладают значительно сниженными скоростями всасывающих потоков и соответственно сниженной всасывающей способностью. Наличие экрана позволяет максимально использовать энергию всасывающих потоков, а гидромониторные струи, направленные непосредственно в зев наконечника, дополнительным инжектирующим действием стимулировать процесс всасывания.

При очистке землесосными снарядами ирригационных каналов от наносов значительные трудности представляет разработка грунтов, заросших растительностью. В данных условиях требуются специальные рабочие органы, способные эффективно

измельчать стебли и корни растений так, чтобы они свободно проходили через землесос.

В настоящее время имеется несколько типов указанных рабочих органов, так например, ротационный рыхлитель ВНИИГиМа, фрезерный рыхлитель УкрНИИГиМа, двухфрезерный барабанный рыхлитель, разработанный в Калининском политехническом институте и др. Однако, удовлетворяя требованиям разрыхления заросших и торфянистых грунтов, указанные рыхлители не обеспечивают достаточно эффективного процесса всасывания грунта. Всасывающие наконечники в большинстве конструкций расположены в тыльной части рабочих органов, на большом расстоянии от разрыхляемой зоны забоя. Режущие ножи, как правило, для эффективного измельчения заросших грунтов, имеют значительные окружные скорости движения. Вследствие этого, значительная часть разрыхленного грунта за счет центробежных сил отбрасывается от зоны всасывания и не забирается всасывающими потоками.

С целью интенсификации процесса всасывания при разработке заросших грунтов предложено скомплектовать ротационный рыхлитель с поворотным вогнутым экраном (рис.6).

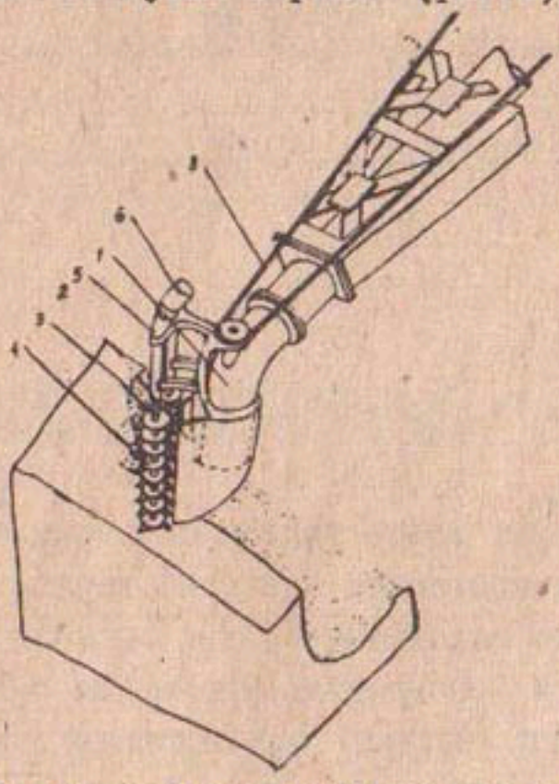


Рис.6. Грунтозаборное устройство с экраном и ротационным рыхлителем для разработки заросших грунтов.

В данном случае у боковых сторон экрана 2 на кронштейне удерживающем последний, закрепляются валы 3 с ножами 4. В верхней части валы через редуктор 5 связаны с гидромотором 6. Ориентация экрана с рыхлителями, в соответствии с направлением папильонирования, осуществляется специальным приводом посредством гибких тяг 8.

Как показали наши проработки, конструкцию вогнутого экрана можно также скомплектовать с фрезерным рыхлителем (рис.7).

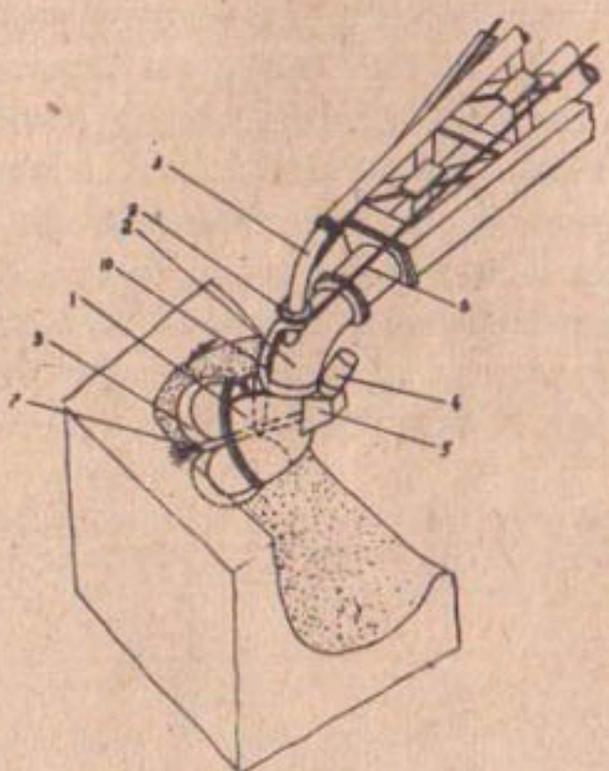


Рис.7. Грунтозаборное устройство с экраном и фрезерным рыхлителем.

В известных конструкциях фрезерных разрыхлителей процесс всасывания протекает в весьма неблагоприятных условиях. Зев всасывающего наконечника, как правило, находится в тыльной части фрез и значительно удален от зоны резания грунта, поэтому активного захвата всасывающими потоками разрыхляемого грунта не происходит.

Применение фрезерного рыхлителя в комплексе с поворотным вогнутым экраном обеспечивает более благоприятные условия для всасывания срезаемого грунта.

Такое устройство состоит из вогнутого экрана I, шарнирно закрепленного на всасывающем наконечнике 2. В центральной части экрана установлена фреза 3. Привод фрезы осуществляется посредством гидромотора 4 через редуктор 5. Фреза с экраном ориентируется в забое в направлении папильонирования посредством гибких тяг 6. Поворот фрезы обеспечивается на 90^{0} в обе стороны от диаметральной плоскости. Для предотвращения намазывания фрезы ее лопасти имеют отвально-направляющие поверхности, а в лобовой части устанавливается мощный гидромониторный насадок 7. Напорная вода подается по трубопроводу 8 через шарнир 9 и полый кронштейн I0 в специальные полости в экране, и оттуда через подшипник поступает в полый вал фрезы.

Ориентация фрезы с экраном в забое в соответствии с направлением папильонирования, а также предельно укороченная длина фрезы позволяют исключить просоры грунта.

Весь срезаемый грунт в данном случае попадает в зону, ограниченную экраном, и интенсивно захватывается всасывающими потоками. При разработке грунта фреза с экраном может совершать цикличные повороты на небольшой угол, увеличивая тем самым объем грунта, разрабатываемого за один проход.

А.Я.САЙГАНОВ

О ГИДРАВЛИЧЕСКИ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ДИАМЕТРАХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И КОНУСНЫХ ТРУБ

Как известно, технология изготовления бетонных и железобетонных малонапорных труб вибропрессованием значительно упрощается при конусной форме труб /I/. При монтаже трубопровода из таких труб в местах их соединения возникают пороги "e", величина которых при длине труб, равной 5 м находится в пределах 2% от диаметра во втулочной части ($d_в$) (рисунок). При движении воды внутри такого трубопровода, кроме потерь напора по длине, возникают дополнительные гидравлические сопротивления, вызываемые внезапными расширениями струи на участке стыковки труб.

Следует отметить, что трубопроводы, построенные из цилиндрических или конусных труб, имеют одинаковую пропускную способность, если средний диаметр конусных труб ($d_{ср}$) на определенную величину больше диаметра цилиндрических (d_0). Поэтому размеры гидравлически эквивалентных диаметров тех и других труб должны определяться из условия, что

$$h_{w_0} = \Sigma h_{w_к}. \qquad (I)$$

Потери напора по длине трубопровода (h_{w_0}) для цилиндрических труб определяются по формуле Дарси /2/

$$h_{w_0} = \frac{\lambda \cdot \ell \cdot v^2}{d_0 \cdot 2g} \qquad (2), \qquad v = \frac{4Q}{\pi d_0^2}. \qquad (3)$$

Подставляя значение v, получим

$$h_{w_0} = \frac{\lambda \cdot \ell \cdot 16 \cdot Q^2}{2g \pi^2 d_0^5}. \qquad (4)$$

где ℓ – общая длина рассматриваемого трубопровода;
v – средняя скорость движения воды;
d_0 – диаметр цилиндрических труб;
Q – расход воды;

λ – коэффициент сопротивления по длине для бетонных и железобетонных труб, определяемый по формуле /2/

$$\lambda = \frac{0{,}0195}{\sqrt[3]{d_0}}. \qquad (5)$$

Сумма потерь напора в трубопроводе из конусных труб – $\Sigma h_{w_к}$ – устанавливается по зависимости

$$\Sigma h_{w_к} = h_к + h_р. \qquad (6)$$

где $h_к$ – потери напора по длине;

$h_р$ – потери напора от числа внезапных расширений.

Поскольку при небольших порогах ($e = 0{,}02\, d_б$) сечение трубопровода из конусных труб длиной 5 м будет изменяться незначительно, то для ориентировочных расчетов $h_к$ определим для случая равномерного движения воды. Для этого раскроем величины слагаемых правой части равенства (6)

$$\Sigma h_к = \frac{\lambda \cdot e \cdot v^2}{d_{ср} \cdot 2g} + \zeta \frac{v^2 \cdot \kappa}{2g}, \qquad (7)$$

где $\kappa = \frac{e}{e_т}$ – число дополнительных гидравлических сопротивлений, равное количеству труб;

$e_т$ – длина одной трубы;

ζ – коэффициент сопротивления от внезапного расширения в одном соединении, равный

$$\alpha = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2 = \left(\frac{d_р^2}{d_б^2} - 1\right)^2, \qquad (8)$$

где $d_р$ – диаметр труб у раструбной части;

$d_б$ – то же во втулочной части.

Подставляя в уравнение (I) величины из (4,7 и 3), имеем:

$$\frac{\lambda_0 \cdot e \cdot Q^2 \cdot 16}{2g \cdot \pi^2 d_0^5} = \frac{\lambda \cdot e \cdot Q^2 \cdot 16}{2g \cdot \pi^2 d_{ср}^5} + \frac{\zeta_р \cdot e \cdot Q^2 \cdot 16}{2g \cdot \pi^2 d_р^4 e_т}. \qquad (9)$$

После сокращения на $\frac{\varepsilon \cdot 16 \cdot Q^2}{2g \cdot \pi^2}$ получаем

$$\frac{\lambda_0}{d_0^5} = \frac{\lambda}{d_{cp}^5} + \frac{\xi_p}{d_p^4 \cdot e_r}, \qquad (10)$$

откуда

$$d_0 = \sqrt{\frac{\lambda_0}{\frac{\lambda}{d_{cp}^5} + \frac{\xi_p}{d_p^4 \cdot e_r}}}. \qquad (11)$$

где $d_{cp} = \frac{d_0 + d_p}{2}$ (12), $d_p = d_0 + 2e$. (13)

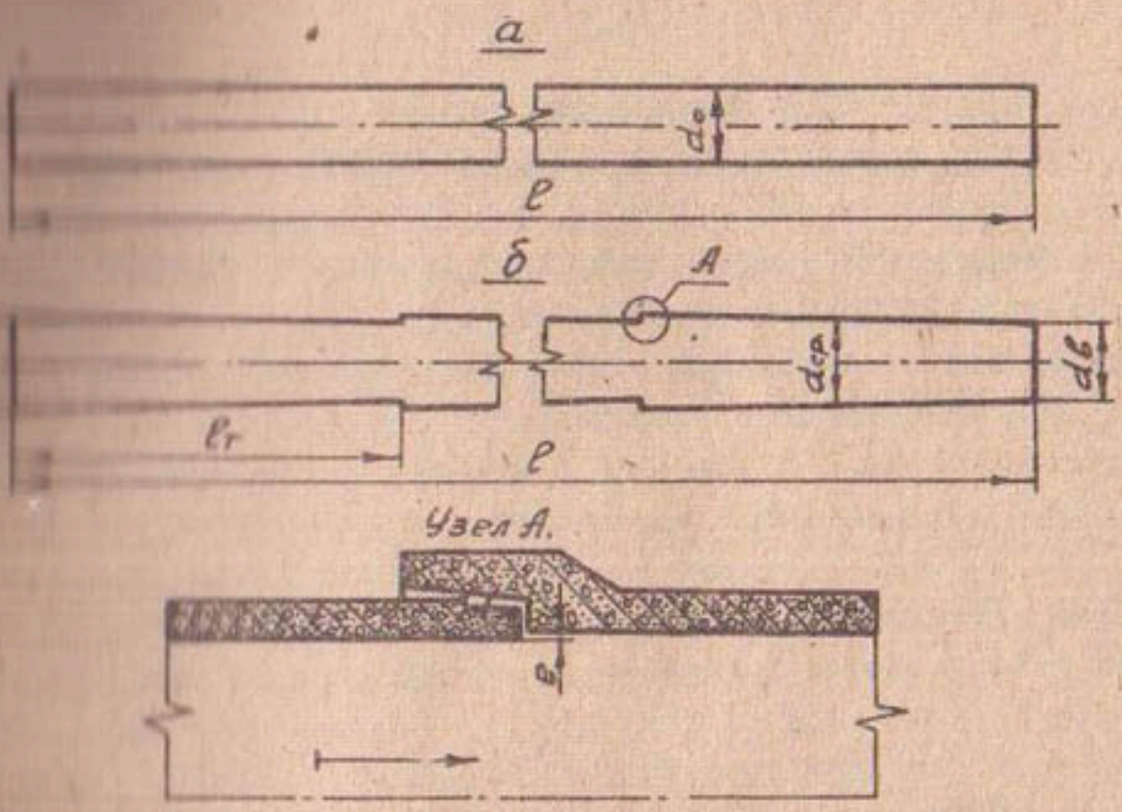
Принимая d_0 равным стандартным диаметрам цилиндрических труб (300, 400, 500, 600, 800 и 1000 мм) и задаваясь различными значениями порогов ($e = \frac{d_p - d_0}{2}$), определяем диаметры цилиндрических труб, обладающих одинаковой пропускной способностью с конусными трубами.

По результатам расчетов построены графики влияния порогов на отношение эквивалентных диаметров конусных (d_0) и цилиндрических (d_0) труб (см.рис.). На графике видно, что если пороги, возникающие из технологических особенностей изготовления конусных труб вибропрессованием, не будут превышать величин, соответствующих коэффициенту эквивалентности, равному единице, то дополнительные потери напора компенсируются за счет увеличения d_{cp} на величину этих порогов

$$e = \frac{d_p - d_0}{2}$$

Если пороги будут превышать указанные величины, то дополнительные потери напора повышаются настолько, что для получения трубопроводов с одинаковой пропускной способностью необходимо увеличивать d_0 по сравнению с d_0 цилиндрических труб.

Таким образом, при определении технико-экономических показателей метода механического вибропрессования средний диаметр конусных труб необходимо принимать $d_{cp} = d_0 + e$.



Схемы сравниваемых трубопроводов, построенных из цилиндрических труб (а) и из конусных (б).

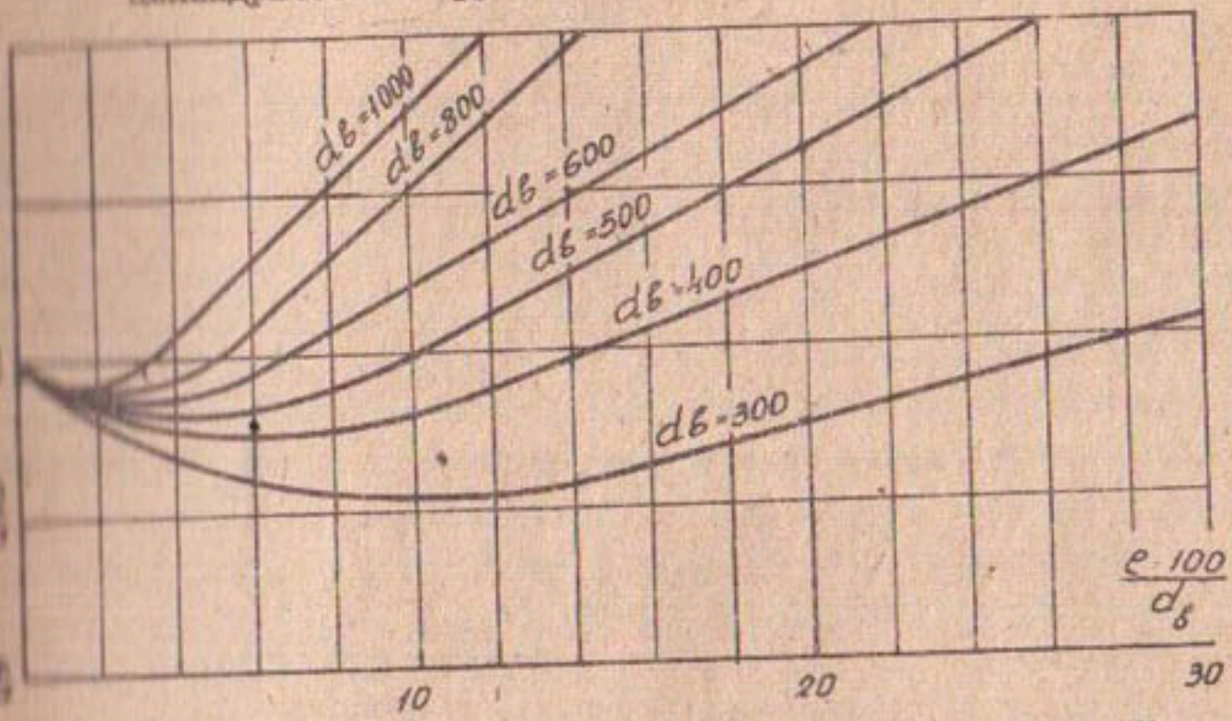


Рис. График влияния порога на отношение эквивалентных диаметров конусных и цилиндрических труб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайганов А.Я. Технология изготовления малонапорных труб для гидромелиоративного строительства способом механического вибропрессования, Тезисы докладов научно-технической конференции молодых ученых, САНИИРИ, Ташкент, 1970.

2. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам, Госэнергоиздат, Л., 1961.

А.Я.САЙГАНОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ОБЖАТИЯ РЕЗИНОВЫХ КОЛЕЦ В СОЕДИНЕНИЯХ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МАЛОНАПОРНЫХ ТРУБ

Для создания герметичного и гибкого стыка при соединении железобетонных напорных труб широко применяются резиновые кольца. Они приемлемы и при соединении малонапорных труб, изготовленных механическим вибропрессованием /I/.Если малонапорные трубы с рабочим давлением до 3 ати из-за отсутствия установленных для этого случая нормативных данных будут соединяться в соответствии с указаниями СН334-65 /2/ для соединений напорных труб, то герметичность стыковых соединений превысит 20 ати. При таком завышении герметичности возникает разрушающее усилие ($P_{раз}$) в раструбной части труб. Величина его определяется в зависимости от внутреннего диаметра раструба ($D_р$) и удельной нагрузки (q), необходимой для обжатия резинового кольца

$$P_{раз} = \frac{q \cdot D_р}{2}.$$

Измерениями установлено, что при обжатии резинового кольца диаметром 24 мм до I2 мм толщины требуется усилие II0 кг/пог.см.

Результаты расчетов $P_{раз}$ в зависимости от диаметра труб приведены в табл.I, из которой видно, что для восприятия нагрузок, возникающих при таком обжатии колец, необходимо повысить прочность раструбной части труб. Это может быть достигнуто армированием их предварительно напряженной арматурой, что усложнит технологию изготовления малонапорных труб.

Вместе с тем, испытательное давление на герметичность для таких труб в соответствии со СНиПГ4-62 составляет всего 6 ати, при котором $P_{раз}$ от напора воды имеют значительно меньшую величину (см.табл.I).

Данные расчетов показывают, что трубы, изготовленные механическим вибропрессованием, несмотря на достаточную водонепроницаемость и трещиностойкость их стенок для малонапор-

ных трубопроводов, невозможно соединять при помощи резиновых колец в соответствии с требованиями ТУСН-161-61.

Таблица I

Диаметр трубы, мм	$P_{раз}$ от обжатия резиновых колец, кг	$P_{раз}$, действующее во время испытания труб, кг/пог.см
500	3440	184
600	4092	222
700	4750	257
800	5400	294
900	6072	330
1000	6732	366

Для изучения условий соединения малонапорных труб при помощи резиновых колец проведены опыты по определению предельного давления, выдерживаемого стыковым соединением в зависимости от величины зазора между раструбом одной трубы и втулочным концом другой. Для опытов были изготовлены два бетонных диска с металлическим обрамлением, между которыми зажимали резиновое кольцо (рис.I). С целью увеличения герметичности соединений поверхность дисков загрунтовывали битумным раствором. Битум подогревали до 90^0 и растворяли в бензине при соотношении I:2 по весу. Для лучшего сцепления поверхность бетона предварительно обрабатывалась обтирочным материалом, смоченным в бензине и затем кистью наносилась грунтовка. Опыты проводились после полного высыхания грунтовки.

Результаты опытов представлены графически на рис.2, откуда видно, что необходимая герметизация соединений малонапорных труб достигается при значительно меньшей степени обжатия резиновых колец (16%), что ведет к снижению $P_{раз}$ действующих на раструб.

При определении степени обжатия были учтены остаточная деформация при старении резиновых колец, которая в соответствии с ГОСТом 3228-60 не должна превышать 45%, и допу-

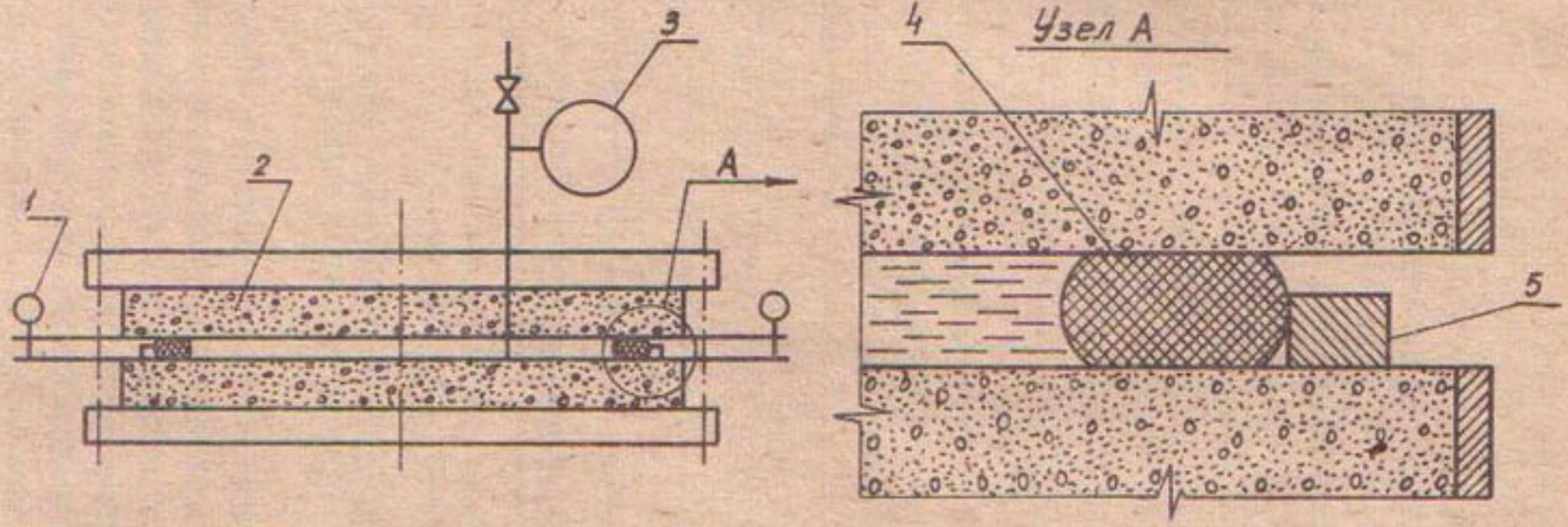


Рис.I. Схема опытов по определению степени обжатия резиновых колец в соединениях малонапорных труб:
I- мессура; 2- вибропрессованный бетон; 3- манометр;
4- резиновое кольцо; 5- упорный выступ.

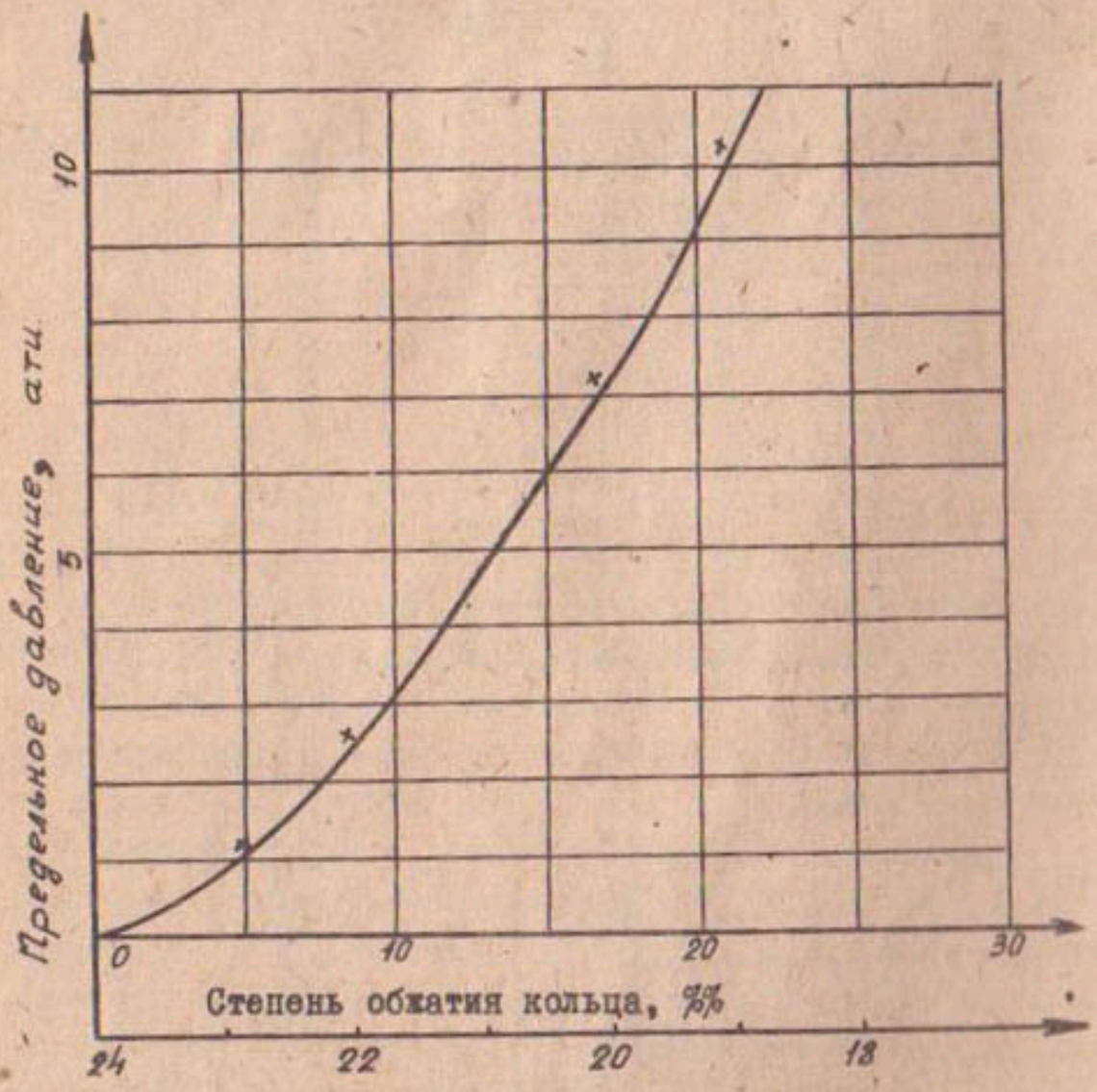


Рис.2. График зависимости предельного давления от степени обжатия резинового кольца.

стимые отклонения геометрических размеров раструба и втулочного конца труб, изготовленных механическим вибропрессованием, зависящие от точности выполнения калиброванных обечаек. Поскольку обечайки могут быть изготовлены с допуском ± I мм, то возможные отклонения размеров труб, влияющих на степень обжатия колец, также могут быть ограничены в указанных пределах.

Исходя из этого, было установлено, что степень обжатия колец в соединениях малонапорных трубопроводов составляет 33% от их начального диаметра. Поэтому размеры малонапорных труб были определены из расчета, чтобы в процессе их стыковки резиновое кольцо с начальным диаметром 24 мм обжималось до толщины I6 мм. Необходимая толщина упорного выступа (5),предотвращающего выдавливание резинового кольца из рабочего положения, определялась в процессе опытов путем установки между дисками металлических колец толщиной 6, 8, I0 и I2 мм (см.рис.I). Выдавливание резинового кольца, находящегося в зазоре между дисками, через упорный выступ толщиной I0 мм, при давлении воды I0 ати не наблюдалось.

На основании полученных данных был сделан вывод о том, что при соединении малонапорных труб меньшая степень обжатия колец позволяет сократить длину раструба и втулочного конца по сравнению с высоконапорными трубами, изготовленными гидропрессованием /3/.

Одновременно проводились испытания на герметичность отрезка трубопровода, построенного из 3-4 труб длиной I м каждая. Трубопровод испытывался по ГОСТу I286-67 путем повышения давления воды в нем. Для этого концы трубопровода закрывались аналогично соединениям труб между собой. С целью увеличения герметичности соединений рабочие поверхности раструба и втулочного конца каждой трубы загрунтовывались битумным раствором. Признаков воды в местах соединения труб при давлении в 8-I0 ати не наблюдалось. При испытаниях оказалось, что герметичность всех соединений была выше трещиностойкости стенок труб от разрушающего действия внутреннего давления воды.

При изготовлении труб механическим вибропрессованием бетонная поверхность раструба и цилиндрический конец трубы получаются настолько калиброванными, что не требуют дополнительной обработки, а плотное соприкасание резины с бетоном в стыковом соединении обеспечивается путем нанесения грунта на рабочую поверхность.

Таблица 2

Показатели	Размеры, мм						
Внутренний диаметр втулочной части трубы (D_0)	400	500	600	700	800	900	I000
Внутренний диаметр раструбной части (D_0')	425	529	630	732	835	936	I038
Наружный диаметр втулочного конца трубы (D_2)	500	6I0	720	840	960	I080	I200
Наружный диаметр кромки (D_1)	470	580	680	8I0	930	I050	II70
Внутренний диаметр наружной кромки раструба (D_4)	508	6I8	728	848	962	I088	I208
Внутренний диаметр внутренней кромки (D_3)	5I6	626	736	856	976	I096	I2I6
Наружный диаметр раструба (D_5)	6I2	736	856	996	II36	I276	I4I6
Длина внутренней части раструба (l_0)	I45	I45	I45	I45	I55	I55	I55
Длина втулочной части (l_6)	85	85	85	85	90	90	90
Длина наружной цилиндрической части раструба ($l_{0.н}$)	I55	I55	I55	I55	I65	I65	I65
Толщина стенок (δ)	50	55	60	70	80	90	I00
Длина труб (L)	4000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Порог в соединениях труб (e)	I2,5	I4,5	I5,5	I6	I7,5	I8	I9

В результате проведенных исследований разработана наиболее приемлемая конструкция стыковых соединений для бетонных и железобетонных вибропрессованных малонапорных труб (рис.3, узел Г), а в табл.2 приведены параметры этих труб

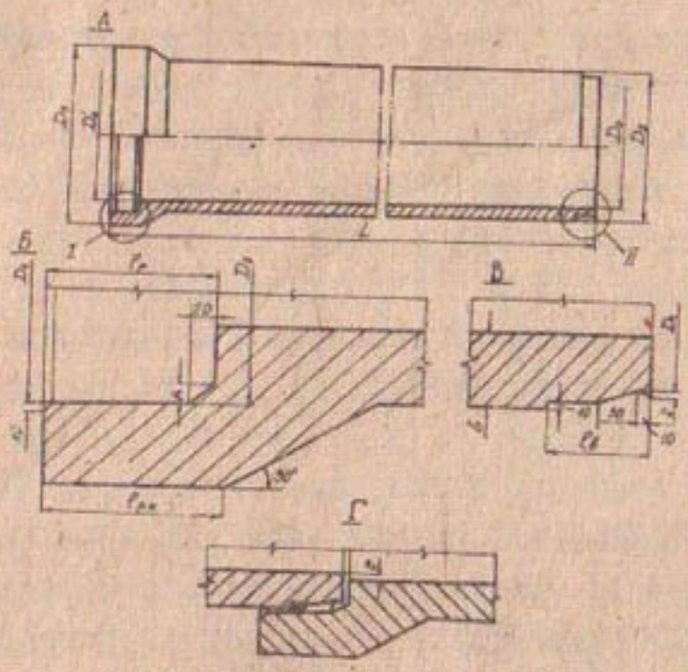


Рис.3. Конструкция железобетонных вибропрессованных малонапорных труб:
А – продольный разрез,
Б – узел I – раструб,
В – узел II – втулочный конец,
Г – узел стыкового соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайтанов А.Я. Технология изготовления малонапорных труб для гидромелиоративного строительства способом механического вибропрессования. Тезисы докладов научно-технической конференции молодых ученых САНИИРИ, Ташкент, 1970.
2. Указания по монтажу железобетонных напорных трубопроводов СН334-65, Стройиздат, М., 1966.
3. Попов А.Н. Изготовление железобетонных напорных труб методом вибропрессования, Госстройиздат, М., 1963.

Х.К.САЛИМОВ, Г.Д.СМЕЛОВ, П.С.ТРЕБУНСКИХ

ДВУХРОТОРНЫЕ ЭКСКАВАТОРЫ ЭТР-122 НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ КАНАЛОВ В УзССР

В последние годы в ирригационном строительстве, как показывает практика, наиболее эффективно применять специализированные машины непрерывного действия. Одной из таких машин является экскаватор ЭТР-122 конструкции ВНИИземмаша, выпускаемый Брянским заводом ирригационных машин. Этот экскаватор представляет собой самоходную машину с двухроторным рабочим органом непрерывного действия и предназначен для рытья оросительных каналов глубиной до 1,2 м, шириной по дну 0,4; 0,6 и 0,8 м с откосами 1:1; 1:1,25 и 1:1,5 за один проход в суглинистых, песчаных и гравелистых грунтах I-III категории с отдельными каменистыми включениями размером не более 300 мм.

Экскаватор (рисунок) смонтирован на базе гусеничного трактора Т-180Г измененной конструкции. Изменения заключаются в следующем: двигатель (1) и кабина (2) смещены вверх и вперед для уравновешивания рабочего оборудования, расположенного сзади; между двигателем и трансмиссией (3) установлен ходоуменьшитель с редуктором отбора мощности (4). Рабочий орган (5) состоит из двух наклонных роторов (6) и зачистного ножа (7) с бермообразователями.

Опытная партия машин прошла производственные испытания в Укрводстрое, Туркменводстрое, Крымканалстрое и в Таджикгидрострое. На всех указанных объектах отрытые экскаваторами каналы отличались хорошим качеством поверхности. Однако, коэффициент использования по времени $K_в$ был низким и в среднем не превышал 0,43.

В целях выявления эффективности работы экскаваторов ЭТР-122 в условиях Узбекистана, отделом организации и механизации водохозяйственных работ САНИИРИ в 1968 г. были проведены производственные исследования и наблюдения за работой 18 экскаваторов на различных водохозяйственных объектах республики, строящихся в районах освоения новых массивов в Са-

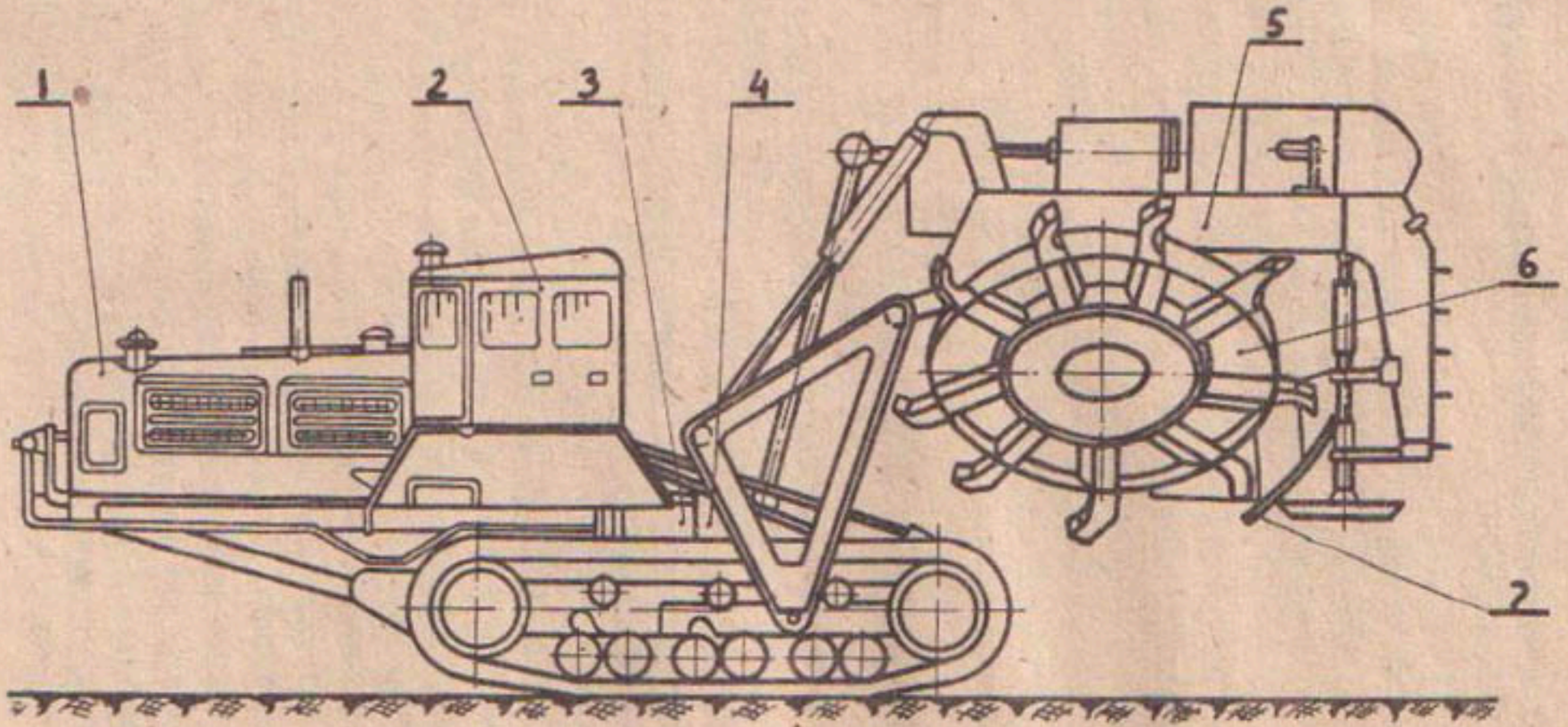


Рис. Экскаватор ЭТР-122 в транспортном положении

маркандской, Наманганской, Сурхандарьинской, Ферганской областях.

Основные результаты исследований экскаваторов ЭТР-122 приведены в таблице.

Таблица

Область	Протяженность отрытых каналов, км	Объем выполненных работ, тыс.м³	Коэффициент использования по времени,	Производительность за час чистой работы, м³/ч	Производительность за смену, м³/ч	Стоимость 1 м³, руб.
Самаркандская	15	15	0,88	181	-	0,51
Наманганская	8,5	16,5	0,6	216	-	1,03
Сурхандарьинская	68,2	-	0,65	-	140	0,35
Ферганская	17,6	14,5	0,65	-	65,6	-

Примечание. Стоимость 1 м³ грунта, разработанного экскаватором ЭТР-122, определялась, исходя из годового режима работы в 300 смен.

Ниже приведены особенности работы экскаваторов отдельно по каждой области.

В Самаркандской области нарезка каналов производилась глубиной 1,1 м, шириной по дну 0,6 м, заложением откосов 1:1 м, в основном, на 1-й скорости, так как на более высоких скоростях пневмокамерная муфта часто отключалась. При работе в сухих грунтах при попутном ветре и в безветрие перед кабиной машины образовывалась постоянная пыльная завеса и установленные по оси канала вешки не просматривались. Строительство приостанавливалось до тех пор, пока видимость не улучшалась. Кроме того на экскаваторе не предусмотрено визирное устройство для наблюдения за правильностью хода по оси канала. Машинисты вынуждены изготавливать его кустарным способом.

В Наманганской области каналы отрывались глубиной 1-1,1 м, шириной по дну 0,8 м и заложением откосов 1,1,5 в

грунтах I категории. Трасса отрываемых оросителей подготавливалась скреперами и бульдозерами и планировалась под нивелир. Нарезка каналов производилась на 2-ой скорости в одну смену.

В Шерабадской степи Сурхандарьинской области нарезка оросителей производилась глубиной 0,8-I,2 м, шириной по дну 0,4 и 0,8 м с откосами I:I,25 и I:I,5. Здесь частые остановки машины возникали из-за ненадежной работы гидронасоса НШ-IOП, предназначенного для привода цилиндра опорной лыжи. Экскавация производилась только на I-ой скорости, так как, несмотря на малое сечение выемки (I,44 $м^2$), происходило срезание предохранительного пальца на приводном валу ротора. Отсутствие какой-либо сигнализации об остановке одного из роторов в условиях плохой видимости затрудняло своевременную остановку машины, в результате возникала опасность поломки деталей и после среза пальца.

Все экскаваторы, работавшие в Сурхандарьинской области, были получены с завода с приборами ПУЛ-3. В весенний период, когда влажность грунта была высокой и запыленность при экскавации отсутствовала, прибор ПУЛ-3 работал нормально. С повышением запыленности уменьшалось расстояние действия прибора, отчего количество перестановок светового генератора и суммарное время, затрачиваемое на его настройку, увеличивалось. В результате этого сокращалось чистое рабочее время. Кроме того, для настройки прибора необходим высококвалифицированный специалист, знающий электронику. По этим причинам все экскаваторы работали без прибора ПУЛ-3.

В Ферганской области каналы нарезались с различной глубиной, шириной по дну и крутизной откосов. При работе экскаваторов наблюдалась течь масла в гидроцилиндрах из-за недостаточно надежного уплотнения, а также частые поломки карданного вала, передающего крутящий момент от раздаточного редуктора к верхнему.

Сопоставляя выполненный объем работ (I4,5 тыс.$м^3$) в Ферганской области с плановой годовой выработкой (25,75 тыс.$м^3$), вычисленной Гипроводхозом из расчета 300 смен работы в году,

видно, что экскаватор использовался недостаточно. Во время строительства каналов,с I января по I ноября,экскаватор отработал II8I час., при этом простои составили 2257 час.

Длительные простои вызваны как плохой организацией эксплуатации машин, так и неполадками в них, к числу которых следует отнести поломки деталей верхнего и нижнего поворотных редукторов, телескопического карданного вала, бермообразователей, пневмокамерной муфты, а также из-за неисправностей гидросистемы управления опорной лыжи.

Несмотря на отмеченные недостатки качество выполненных работ машинами было высокое. Поверхность отрытых каналов пригодна для последующего бетонирования без применения ручных доделок.

ЛИТЕРАТУРА

Инструкция по эксплуатации экскаватора ЭТР-I22,Минстройдормаш,Брянский завод ирригационных машин,I967.

П.С.ТРЕБУНСКИХ

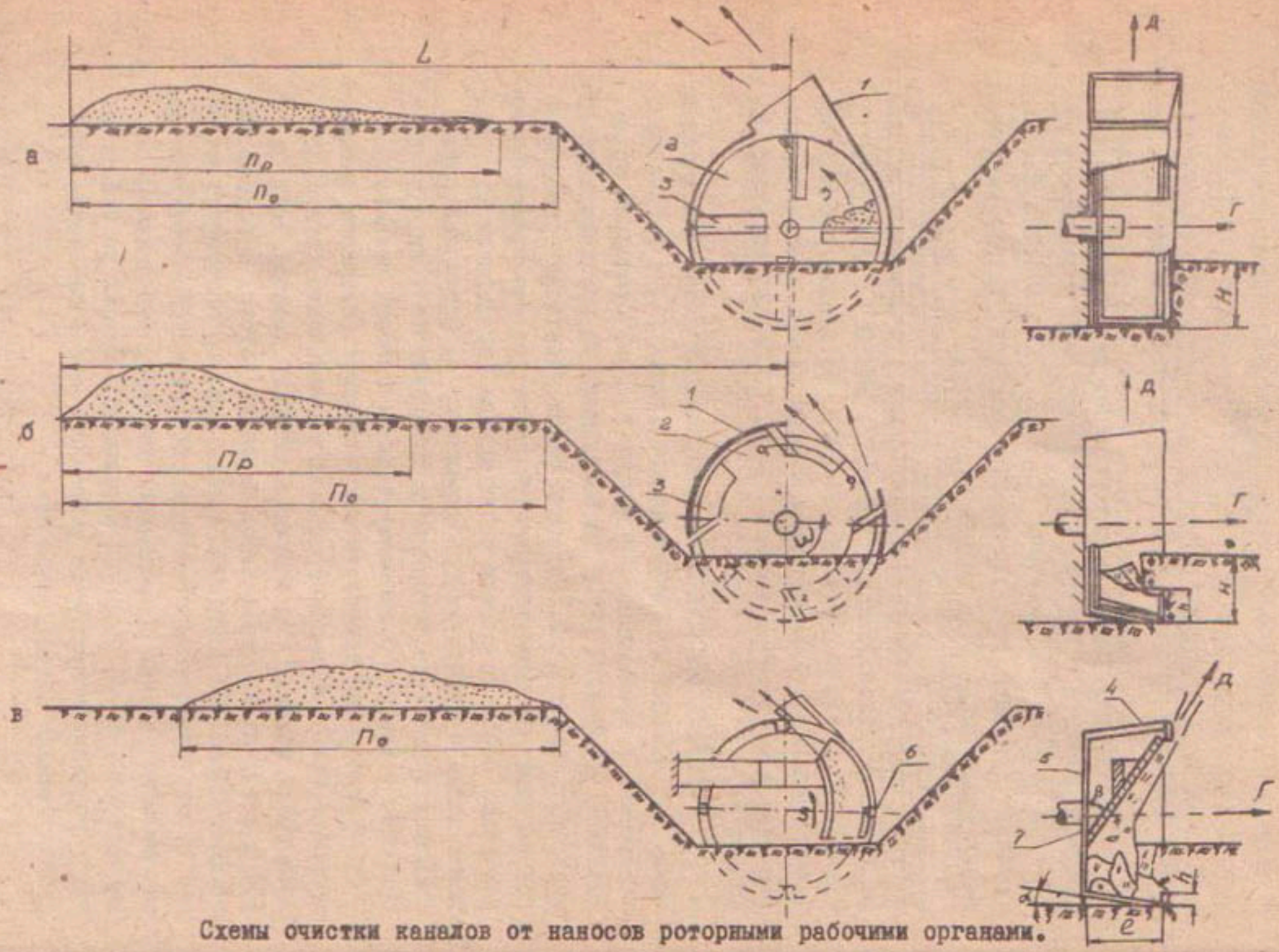
КОНУСНЫЙ РОТОРНЫЙ РАБОЧИЙ ОРГАН КАНАЛООЧИСТИТЕЛЯ

Ежегодные объемы земляных работ на очистке мелкой межхозяйственной и внутрихозяйственной сети исчисляются десятками миллионов кубометров /I, 2, 3/. Они выполняются, в основном, вручную, что значительно снижает уровень механизации земляных работ в водном хозяйстве.

Отечественная промышленность приступила к серийному выпуску ряда каналоочистительных машин с различными рабочими органами: многоковшовым (ЭМ-I52Б, ЭМ-202), скребковым (Д-490М) и роторным (Д-490М, ЭМ-202). Из данных рабочих органов наибольшей компактностью, малым весом, простотой конструкции и достаточно высоким к.п.д. (0,6-0,9) обладает роторный /4/.

Роторный рабочий орган современных каналоочистителей (рис. а) состоит из направляющего кожуха (I) с выбросным отверстием и вращающегося в кожухе ротора. Последний представляет собой диск (2) с закрепленными на нем лопатками (3) различных конструкций. Роторный орган производит срезание грунта сразу со всей поверхности забоя при одновременном перемещении рабочего органа вдоль канала (по стрелке Г) и вращении диска с лопатками (по стрелке ω). Срезанный грунт транспортируется по поверхности неподвижного кожуха до выбросного отверстия и выбрасывается за пределы канала.

Нормальный технологический процесс роторного органа возможен лишь при высокой степени размельчения грунта. Это происходит потому, что окружная скорость лопаток почти в I00 раз больше поступательной скорости ротора, а подача или толщина срезаемой лопаткой стружки наносов составляет не более I5 мм. Поэтому энергоемкость копания существующих роторных рабочих органов сравнительно высокая, что является их недостатком. Кроме того, на перемещение грунта по поверхности неподвижного кожуха до выбросного отверстия также требуются большие затраты мощности.



Схемы очистки каналов от наносов роторными рабочими органами.

Траектория полета выбрасываемого грунта лежит в плоскости вращения ротора, т.е. под прямым углом к оси канала, в связи с чем дальность полета наносов, удаляемых из каналов, весьма значительна и определяется окружной скоростью ротора. Вследствие этого применение каналоочистителей с роторным рабочим органом в условиях близкого расположения посевов от каналов в вегетационный период ограничено из-за отсутствия достаточно широкой полосы отчуждения, необходимой для размещения выбрасываемых из канала наносов. В послеуборочный период, когда грунты в результате продолжительного бездействия каналов приобретают высокую прочность, применение роторного органа малоэффективно из-за его высокой энергоемкости. Работоспособность ротора еще больше снижается при наличии в наносах твердых включений. Резкое возрастание сопротивления копанию в момент встречи лопатки с включениями и отсутствие надежных предохранительных устройств в приводном механизме, при продолжающемся поступательном движении рабочего органа, приводит к поломкам деталей машины.

В отделе организации и механизации водохозяйственных работ САНИИРИ уже в течение ряда лет ведется работа по повышению эффективности каналоочистителей. В частности,

разработана принципиально новая конструкция ротора (рис. 6), позволившая снизить энергоемкость копания /5,6/. Это снижение достигнуто путем использования эффекта самообрушения наносов при разработке. Предложенным ротором наносы срезаются не со всей поверхности забоя, а только в нижней его части, поэтому верхняя, подрезанная часть грунта, под действием собственного веса самообрушается и попадает на внутреннюю поверхность кожуха, откуда выбрасывается лопатками.

Отличительной особенностью этого ротора является то, что высота h лопаток (3) в радиальном направлении значительно меньше высоты H разрабатываемого забоя наносов.

Дальнейшие работы в отделе по повышению работоспособности роторного рабочего органа каналоочистителя были нап-

равлены на сокращение до минимума поверхности резания и уменьшение потерь мощности на перемещение грунта лопатками. В результате был создан рабочий орган (рис. в), ротор которого выполнен в виде усеченного конуса (4) с днищем (5). Со стороны открытой части конуса закреплены ножи (6). Высота ножей h несколько больше величины $\ell \cdot tg\alpha$, где ℓ - глубина конуса, α - угол между образующей конуса и его осью. Внутри конуса, в верхней его части, установлена неподвижная пластина (7) под углом β к днищу. Пластина с ротором не связана и между ее краями и внутренней поверхностью ротора имеется зазор. Нижний конец пластины подходит к днищу, а верхний - к открытому краю ротора.

Принцип действия конусного ротора с неподвижной пластиной, заключается в следующем. По мере поступательного движения вдоль канала (по стрелке Г) вращающийся по направлении ω конус, ножами подрезает грунт, образуя дуговую прорезь. Подрезанный грунт самообрушается и падает на внутреннюю поверхность вращающегося конуса. Под действием сил трения грунт начинает двигаться вместе с конусом, а возникающая при вращении центробежная сила удерживает его неподвижно на поверхности конуса. При встрече с пластиной происходит сдвиг грунта к наружному краю конуса, в результате чего он выбрасывается в направлении D, которое зависит от угла β.

В сравнении с серийно выпускаемыми ротационными рабочими органами, предназначенными для удаления наносов, конусный роторный орган имеет следующие преимущества.

I. Очистка канала возможна при меньшей полосе отчуждения Π_0, так как траектория полета грунта располагается под некоторым углом к оси канала, вследствие чего выбрасываемый грунт будет размещаться ближе к каналу.

2. На копание затрачивается меньше усилий вследствие того, что резание производится не по всей поверхности забоя, а лишь в нижней его части по дуговой площади, ширина которой достаточна для прохода стенок конуса и обрушения грунта.

3. Благодаря совместному вращению конусного ротора с грунтом почти полностью исключается трение при перемещении грунта до выброса.

4. Значительно уменьшается вероятность встречи режущих элементов с твердыми включениями в грунте.

5. Постоянно происходит очистка деталей от прилипшего грунта, так как в них отсутствуют емкости.

Проведенные в отделе организации и механизации водохозяйственных работ САНИИРИ испытания опытного образца конусного роторного органа подтвердили указанные его преимущества.

В настоящее время начаты экспериментальные исследования данного типа рабочего органа с целью установления основных рабочих характеристик и разработки научно-обоснованных технических требований на каналоочиститель для работы на оросительной сети в зоне орошения.

ЛИТЕРАТУРА

I. Васильев М.В. К вопросу механизации очистки внутрихозяйственных каналов от наносов, "Механизация хлопководства", 1960, № 2.

2. Васильев М.В., Зайцев Л.П. Машины для очистки мелких каналов от наносов, "Механизация хлопководства", 1961, № 3.

3. Бурен М.Я. Механизация земляных работ при эксплуатации оросительной и коллекторно-дренажной сети в системе ММиВХ УзССР, Материалы Всесоюзной научно-технической конференции по механизации водохозяйственных работ в орошаемых районах СССР 2-5 сентября 1969 г., Ташкент, 1970.

4. Мер И.И. Мелиоративные машины, М., Изд-во "Колос", 1964.

5. Зайцев Л.П. Рабочий орган каналоочистительной машины, "Бюллетень изобретений и товарных знаков", 1967, № 9, Автор.свид.№ 195380.

6. Зайцев Л.П. Некоторые вопросы механизации очистки внутрихозяйственной оросительной сети от наносов и исследование ротационно-скребкового рабочего органа каналоочистителя, ТИИИМСХ, Ташкент, 1967. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд.техн. наук.

А.АБДУЖАБАРОВ

СОВМЕЩЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ СОПЛА И ВРАЩАЮЩЕГОСЯ СЕРДЕЧНИКА ПРИ ТОРКРЕТИРОВАНИИ

Торкретирование производится специальным устройством, получившим название цемент-пушки. В сжатом воздухе этого устройства создается режим взвешивания частиц цемента и песка в виде сухой смеси, которая с большой скоростью направляется пушкой по шлангу к находящемуся на его конце соплу. Сюда же подводится вода, которая смачивает сухую смесь специальным устройством, создавая при этом необходимый состав цементно-песчаного раствора. Частицы раствора, вылетая с большой скоростью из сопла, встречают на своем пути торкретируемую поверхность, о которую ударяются. При этом 95-85% за счет сил сцепления и давления задерживается на поверхности, создавая плотный качественный слой мелкозернистого бетона, а другая его часть (5÷15%), которую можно назвать "отскоком" /1,2,3/, отскакивает.

Физико-механические характеристики цементно-песчаных растворов зависят в основном от количества воды, составляющих материалов, технологии изготовления. Удобоукладываемость и подвижность мелкозернистого бетона регулируются подачей количества воды, которая влияет на прочностные и деформативные свойства материала конструкции (водонепроницаемость, усадочные явления и т.д.).

Используемая в обычных и мелкозернистых бетонах излишняя вода после затворения образует в теле бетона поры, которые понижают его водонепроницаемость и морозостойкость. Поэтому, подготавливая составы бетона, стремятся к оптимальному уменьшению количества воды, доводя значения водоцементного значения (В/Ц) до 0,23÷0,28, так как чрезмерный недостаток воды способствует значительному пылеобразованию и соответствующему увеличению величины "отскока".

При торкретировании регулирование подаваемого количества воды производится с помощью изменения открытия крана на водяном шланге.

Торкретирование имеет следующие преимущества по сравнению с другими технологическими вариантами приготовления смеси и использования ее в конструкциях:

1) используется одна опалубка - внутренняя или наружная;

2) не требуется уплотнения смеси вибраторами;

3) можно регулировать подачу количества воды в процессе укладки мелкозернистого бетона;

4) могут быть применены ускорители твердения бетонной смеси;

5) механизируется и автоматизируется способ укладки мелкозернистого бетона, при котором совмещаются технологические процессы транспортировки, нанесения, уплотнения и др.

Наиболее простой способ изготовления армоцементных труб - торкретирование вращающихся сердечников, когда принимаются за основу два элемента технологии - торкретирование движущимся вдоль сердечника соплом и вращение сердечников.

Процесс изготовления тонкостенных криволинейных конструкций из армоцемента при торкретировании - наиболее эффективный технологический способ изготовления конструкций. В результате проведенных лабораторных опытов было установлено, что торкретирование обычно должно производиться в два слоя, из которых первый - защитный, а второй - основной конструктивный с арматурой, работающей и отвечающей соответственно заданным физико-механическим характеристикам материала.

После укладки на защитный слой металлических сеток производится торкретирование второго слоя, который обеспечивает сцепление арматуры с первым слоем мелкозернистого бетона. В процессе изготовления конструкций торкретированием при введении в состав мелкозернистого слоя специальных добавок /5/ можно достигнуть повышения качества бетона, уменьшения времени схватывания и сроков его твердения.

В качестве армирующих добавок при торкретировании применяют металлические опилки, асбест, стекловолокно и другие материалы.

Как установлено опытами, прочностные и другие свойства бетона, уложенного торкретированием, зависят от состава бетона, скорости, с которой подается рабочая смесь из сопла, расстояний его от торкретируемой поверхности, скорости горизонтального движения сопла и вращения сердечника и т.д. Для получения наибольшей прочности наносимого слоя рекомендуется скорость выхода смеси из сопла, зависящую от давления сжатого воздуха, диаметр сопла и расстояния его от торкретируемой поверхности (0,8÷1,2 м) /4/, принимать от 120 до 170 м/сек.

От величины диаметра сопла зависит затрата энергии на подачу материала. При уменьшении скорости выхода необходимо сопло располагать ближе к торкретируемой поверхности. Укладка мелкозернистого бетона способом торкретирования весьма эффективна при малой толщине стенок изготавливаемой конструкции (2–4 см). Толщина защитного торкретируемого слоя должна быть в пределах от 0,2 до 0,4 см, а конструктивных несущих слоев (обычно два) – от 0,4 до 0,8. С увеличением толщины как торкретируемых слоев (более 0,8 см), так и стенок (более 4 см) преимущества этого способа теряются.

Опыты показали, что увеличение количества слоев тканных металлических сеток более четырех при рекомендуемой толщине торкретируемых стенок конструкции дает расслоение бетона или приводит к необходимости увеличения пластичности мелкозернистого бетона, что нецелесообразно.

Процесс торкретирования цемент-пушкой имеет следующие недостатки:

1) иногда в материальном шланге при сильноувлажненных смесях (более 10%) образуются пробки, в результате не достигается равномерного смачивания, а также распределения смеси на торкретируемой поверхности.

С уменьшением производительности цемент-пушки (например С-320 дает меньше 1,5 $м^3$/час мелкозернистого бетона) и возникает необходимость регулирования процесса ее действия;

2) образование "отскока" мелкозернистой бетонной смеси (5÷15%) от всей подаваемой смеси;

3) изнашиваются уплотнительные резиновые диски (необходимость замены их через 900-1000 час.работы цемент-пушки).

Перечисленные недостатки ограничивали возможность широкого применения цемент-пушек для изготовления тонкостенных конструкций. В настоящее время многими научно-исследовательскими институтами ведутся работы по устранению этих недостатков /6/.

Установка БМ-60 конструкции ЦНИИП-подземшахтостроя имеет производительность в 2÷3 раза большую, чем у обычной цемент-пушки и снижает стоимость изготовления мелкозернистого бетона на 20-25%. Двухкамерность таких установок позволяет получить непрерывность подачи сухой смеси /7/.

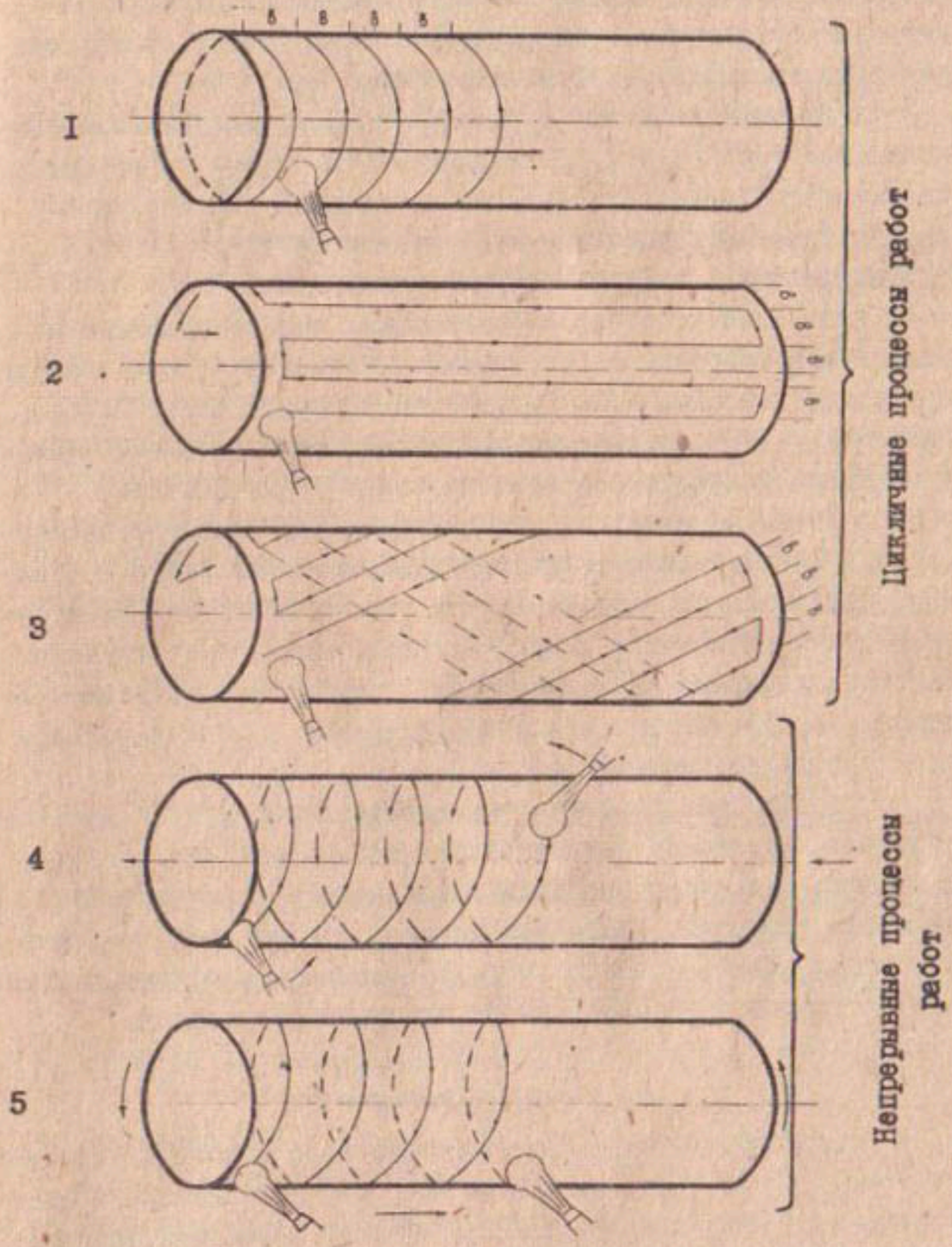
Были рассмотрены варианты совмещения видов движения одного сопла и горизонтального цилиндрического сердечника (рисунок):

1) вращательное движение сердечника с неподвижным соплом и перемещение его после полного оборота сердечника на один шаг, т.е. цикличное движение сопла при непрерывном вращении сердечника;

2) продольное перемещение сопла (по образующей сердечника) при неподвижном положении сердечника и вращение его на один шаг, после достижения соплом его концов, т.е. цикличное движение вращающегося сердечника при непрерывном возвратно-поступательном движении сопла (после перехода на один шаг);

3) вращательное движение сердечника с изменением направления (после прохождения одного витка винтового движения и поворота сердечника на один шаг) и горизонтальное возвратно-поступательное движение сопла (после достижения концов сердечника с остановкой его движения на период перехода сердечника вращением на один шаг);

4) поступательное перемещение (по образующей сердечника) и вращательное движение всего сопла, образуя винтовое движение нанесения слоя;



Виды совмещенного движения сопла и сердечника при торкретировании.

5) вращательное движение сердечника и горизонтально-поступательное перемещение сопла, также образующее винтовое движение нанесения слоя торкрета.

Из перечисленных вариантов совмещения движения сопла и сердечника I, 2, 3 - цикличные, а 4, 5 - непрерывные. Цикличность движения сопла или сердечника дает прерывистость работы, усложнение конструкции, а следовательно больше времени затрачивается на ее изготовление.

Из вариантов 4, 5 с движением, обусловливающим непрерывность работы, 4 - неприемлем, так как вращение сопла требует усложнения конструкций оборудования передвижного полигона, а 5 - совмещение поступательного движения сопла и вращение цилиндрического сердечника - был принят.

Таким образом, из условий простоты технологической схемы изготовления труб на передвижных полигонах с несложным оборудованием, непрерывности работы нанесения необходимого и уплотненного слоя раствора и т.д., было принято винтовое движение нанесения слоя, совмещающее вращение горизонтального цилиндрического сердечника и поступательное горизонтальное движение сопла.

При выбранной схеме технологии изготовления труб необходимо достижение равномерности толщи слоя и их уплотняемости. Для этого необходимо определить характеристики процесса торкретирования вращающихся сердечников, параметры оборудования, а также выбрать оптимальные режимы работы, которые можно определить на основании исследований.

Выводы

I. Изготовление армоцементных труб способом торкретирования имеет такие преимущества, как механизация и автоматизация операций транспортирования, нанесения, уплотнения и т.д.; использование одной опалубки, регулировка подачи воды, применение быстротвердеющих вяжущих материалов и др. Но эти способы имеют следующие недостатки: образование пробок сухой смеси, наличие отскока, незначительная производи-

тельность цемент-пушки, для устранения которых рекомендуется использование конструкций высокопроизводительных цемент-пушек, осваиваемые в настоящее время промышленностью, повторное использование "отскока" с помощью простых устройств (транспортера и т.д.), смачивание смеси до нужной влажности и т.д.

2. Выборочные эксперименты и анализ кинематики различных видов совмещенного движения сопла цемент-пушки (числом от I до 3-х) и горизонтально расположенного цилиндрического сердечника (опалубки) показали, что наиболее приемлемы виды движений с непрерывным процессом работ, а по простоте оборудования наиболее рациональный вид совмещенного винтового движения, когда горизонтально перемещается сопло и вращается сердечник. Вертикальное положение сердечника требует усложнения всей конструкции оборудования полигона и удорожает его стоимость.

ЛИТЕРАТУРА

I. Агрызков Н.А. Торкретные работы на строительстве гидроэлектростанций. Энергоиздат, М., I953.

2. Глыжге П.И. Торкрет и его применение в гидротехнике.Госстройиздат, I933.

3. Грязнов Б.Т. Исследование физико-механических свойств торкретированного армоцемента. "Армоцемент и армоцементные конструкции" (материалы научного совещания), М., I962.

4. Грязнов Б.Т. Определение скорости торкретной струи. "Промышленное строительство", М.-Л., I958.

5. Дружинин С.И., Глыжге Г.И. Торкрет и его свойства. Госстройиздат, I934.

6. Марчуков Н.С. Пневматический бетон и опыт его применения в строительстве. Материалы секции УI конференции по бетону и железобетону.

7. Шептицкий Б.А. Облицовка каналов методом торкретирования. "Механизация строительства", I965.

Л.М.ЯРОШЕЦКИЙ

ИСХОДНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В ЦЕЛЯХ РАССОЛЕНИЯ

В в е д е н и е

Из года в год увеличивается объем работ по мелиорации засоленных земель - борьбе с засолением и предупреждением засоления орошаемых земель.

Основная роль в этих мероприятиях отводится дренажу, который в сочетании с промывными поливами и комплексом агротехнических мероприятий является радикальным средством рассолительных мелиораций.

В последние годы широкое применение получает вертикальный дренаж, состоящий из системы буровых скважин, оборудованных насосно-силовыми установками, рассредоточенных по площади. Количество этих скважин из года в год увеличивается: только по Узбекской ССР к 1980г.оно может достигнуть около 6600 штук на площади 1,8 млн.га в Сырдарьинской, Бухарской, Ферганской, Кашкадарьинской и Ташкентской областях, значительное количество скважин вертикального дренажа будет сооружен в УССР,РСФСР,Каз.ССР,Турк.ССР,Тадж.ССР и других республиках.

Управление таким огромным количеством рассредоточенных энергетических объектов без соответствующих технических средств невозможно.

Для определения способов управления и составления технических требований к средствам управления необходимо, рассмотрев систему вертикального дренажа как объект управления, сформулировать задачи синтеза алгоритмов управления, а затем и сами алгоритмы.

Рассматривая вопрос об управлении системами вертикального дренажа, работающими для рассоления засоленных орошаемых земель, следует отметить, что он может быть решен только поэтапно.

На первом этапе необходимо обеспечить надежную работу насосно-силового оборудования и станции автоматического управления (САУ). Последнее особенно важно, так как до настоящего времени САУ, поставляемая комплектно с насосным агрегатом, не удовлетворяет технологии установок вертикального дренажа /4/.

Разработка и внедрение надежно работающей САУ с полным объемом защиты насосно-силового оборудования, технологической автоматики, измерений и сигнализации позволят перейти ко второму этапу, где предстоит осуществить оснащение систем вертикального дренажа приборами для измерения параметров, характеризующих протекание процесса рассоления, осуществляемого работающими установками вертикального дренажа при подаваемой на промывку воде.

На этом же этапе системы вертикального дренажа будут оборудоваться устройствами телемеханики, с помощью которых возможно осуществлять контроль за работой установок - получать информацию ("работает", "не работает", "авария"), а также при необходимости включать или отключать ту или иную группу скважин /2/.

Осуществление к третьему этапу глубоких исследований, позволяющих сформулировать алгоритм управления системой вертикального дренажа, даст возможность перейти к автоматизации управления или к централизации управления установками вертикального дренажа с помощью систем телемеханики в сочетании с электронной управляющей машиной.

В настоящей статье излагается материал о постановке задачи определения алгоритмов управления системой вертикального дренажа в варианте централизации, т.е. содержание третьего этапа внедрения средств управления этим объектом в целях рассоления засоленных орошаемых земель в мелиоративном периоде.

Описание системы вертикального дренажа и существующих способов управления ею

Современная система вертикального дренажа территориально располагается на площади до нескольких десятков тысяч гектар и включает в себя, как правило, несколько хозяйств (совхозов, колхозов).

Так, система вертикального дренажа на Шурузякском массиве в Старой зоне орошения Голодной степи размещается на площади 68,4 тыс.га Гулистанского и Сырдарьинского районов Сырдарьинской области, где располагаются совхозы "Социализм", "Малек", "Лесхоз", Подхоз и ряд колхозов.

Общее количество скважин вертикального дренажа, в соответствии с утвержденным проектным заданием, на этой системе составит 212 штук.

Кроме скважин, оборудованных насосами, в систему вертикального дренажа входят также наблюдательные скважины; грунтовые колодцы для измерения уровней грунтовых вод и пьезометры для измерения уровня пьезометрического напора. Эксплуатация системы осуществляется Гулистанским и Сырдарьинским эксплуатационными участками, подчиняющимися Управлению мелиоративных систем (УМС) ОблУОС.

Эксплуатация осуществляется без средств централизованного управления и получения информации техниками-наблюдателями, объезжающими на велосипедах с моторчиками или на мопедах в течение смены закрепленные за ними скважины и сообщающими в конце смены об имеющих место авариях и неисправностях на них.

Контроль за мелиоративным состоянием территории, на которой расположен вертикальный дренаж, осуществляется персоналом УМС (замеры - уровней грунтовых вод, пьезометрических напоров, минерализации грунтовой и откачиваемой вод, степени засоления).

В силу рассредоточенности скважин на одного техника-наблюдателя приходится 6-10 скважин, которые, учитывая отсутствие достаточно хороших подъездов к скважинам, особенно в

осенне-зимний период в лучшем случае могут быть осмотрены в одну смену.

В Старой зоне орошения Голодной степи, где количество скважин будет 1100 штук, при существующем способе эксплуатации потребуется 150-200 техников-наблюдателей, при этом могут быть простои скважин; пока будет установлено, что они не работают и сообщено диспетчеру.

Извещение диспетчера о простое скважин при данном способе эксплуатации будет колебаться от 31 час., когда скважина вышла из строя сразу же после посещения ее дежурным техником-наблюдателем, до 7 час. - при остановке перед приездом на нее. (Об аварии дежурный техник-наблюдатель извещает диспетчера после окончания смены).

Существующие способы управления системой вертикального дренажа за основу принимают график, в соответствии с которым на месте скважины включаются в работу или выключаются.

График строится на основании рекомендованных проектными и научно-исследовательскими организациями режимов откачек и, естественно, не может учитывать многих факторов, имеющих место при реальной эксплуатации системы:

а) климатические условия данного гидрологического года;

б) условия конкретного хозяйства;

в) влияние проходящих вблизи каналов, коллекторов и т.д.

При таком способе управления могут быть случаи, когда скважины системы вертикального дренажа по графику должны работать, а фактически мелиоративное состояние этого не требует - при этом будет излишне затрачиваться электроэнергии на работу скважин; или - по графику скважины должны быть остановлены, а фактическое мелиоративное состояние территории требует работы системы вертикального дренажа - это приведет к еще большему ухудшению мелиоративного состояния объекта.

По-видимому, способ управления по графику, составленному заранее, не лишен недостатков, которые могут быть устранены с помощью устройств, учитывающих фактическое мелиоративное состояние территории, где расположена система вертикального дренажа (4).

Формулирование цели управления, выделение автоматизируемого объекта

Современные способы управления системой вертикального дренажа далеко не совершены, а при значительном количестве скважин в системе будут технически не осуществимы. Поэтому необходимо работать над обоснованием способа управления установками в системе вертикального дренажа с помощью средств автоматики и телемеханики.

В этом случае мы можем рассматривать управление системой вертикального дренажа, как часть автоматизированной системы управления водохозяйственным комплексом (АСУ, ВКХ), в которой следует выделить элементы участвующие в сборе информации о состоянии объектов в частности и системы - в целом, а также собственно объекты управления.

Элементы, участвующие в сборе информации, представляют наблюдаемые переменные, характер изменения и абсолютные величины которых дают представление о проходящем процессе (рассолении или засолении).

К ним в большей степени относятся:

а) уровень грунтовых вод $h_{г.в}$;

б) уровень пьезометрического напора $H_{п.н}$;

в) разница между уровнем грунтовых вод и уровнем пьезометрического напора Δh

$$\pm \Delta h = h_{г.в} - h_{п.н},$$

(при протекании процесса рассоления $-\Delta h$, а при засолении $+\Delta h$);

г) минерализация грунтовых вод $M_{г.в}$;

д) степень засоления почво-грунтов $S_{г.г}$, а также расходы воды, поступающие на орошение или промывку земель данного хозяйства - Q.

Из приведенного перечня переменных первые три могут быть отнесены к основным параметрам, изменяющимся во времени, относительно быстро, а последние - к медленно изменяющимся и отнесены к вспомогательным (кроме Q).

Поэтому измерение первых трех, по-видимому, должно осуществляться оперативно, а последних - периодически. (Данные о

расходах воды, подаваемой в хозяйства на поливы или промывки, будут поступать из управления оросительными системами - УОС).

Автоматизируемыми элементами системы вертикального дренажа будут сами скважины с установленным в них насосно-силовым оборудованием. Управление и защита его осуществляется со станцией автоматического управления (САУ), схема которых обеспечивает выполнение требований технологии вертикального дренажа.

Измерения уровней грунтовых вод и пьезометрических напоров может выполняться специальными приборами - уровнемерами, устанавливаемыми соответственно в грунтовых колодцах и пьезометрах с автоматической передачей показаний в диспетчерский пункт с помощью средств телеизмерения (ТИ).

Установление абсолютной величины и знака разницы значений уровней грунтовых вод и пьезометричеакого напора может быть выполнено дифференцирующим прибором на месте или, после передачи, на диспетчерском пункте.

Определение минерализации грунтовых вод и степени засоления почво-грунтов на этапе отсутствия необходимых приборов выполняется силами персонала УМС и после обработки данных в мелиоративных лабораториях они передаются на диспетчерский пункт для внесения их в программу управления; туда же из УОС поступают данные о подаваемых расходах водн.

Управляющими воздействиями будут команды на включение и отключение установок, которые должны передаваться и выполняться специальными средствами - автоматически, с помощью средств сбора информации, анализа ее и принятия решения, или, на первом этапе, диспетчером на базе сбора информации, анализа и принятия решения, осуществляемого таким же устройством, работающего в качестве советчика диспетчера.

В случае, если при работе скважин мелиоративный эффект не достигается из-за недостаточного количества воды, подаваемой в хозяйство на полив или промывку, система должна сигнализировать об этом диспетчеру, который в свою очередь сообщает об этом в УОС, управляющее распределением воды в хозяйстве.

Составление структурной схемы объекта управления

Необходимо составить структурную схему объекта управления и установить граничные условия, определяющие его пуск или остановку, на основании имеющихся представлений о конкретном виде качественных зависимостей между переменными объекта, т.е. априорно /I/.

Систему вертикального дренажа можно рассматривать в виде ряда составляющих, которые представляются локальными участками (например, в пределах хозяйства - колхоза или совхоза), на которых могут контролироваться параметры, определяющие необходимость работы или остановки расположенных там скважин вертикального дренажа (рис.I).

При этом кроме информации, получаемой с данного участка, необходимо иметь сведения с соседних участков, так как нельзя не учитывать их влияния на данный, локальный участок.

Таким образом, структурная схема объекта управления будет выглядеть следующим образом (рис.2).

Система разбивается на P - участков. С каждого участка поступает информация n о наблюдаемых переменных, такая же информация собирается со смежных участков, сбор и обработка информации производится соответствующими элементами устройства телемеханики и вводится в машину.

После анализа информации сравнения ее с данными в блоке оперативной памяти и с условиями блока начальных программ дается команда m на пуск или остановку действующих на участке скважин вертикального дренажа (автоматически или в качестве совета диспетчеру, который вручную производит ту или иную операцию).

Исходные данные для построения структурной схемы - выделенные на этапе формулирования задачи управления возмущающие и управляющие воздействия.

Возмущающие воздействия - наблюдаемые переменные, определяющие мелиоративное состояние участка, изменяющееся при прекращении или ограничении подачи воды на промывку в осенне-

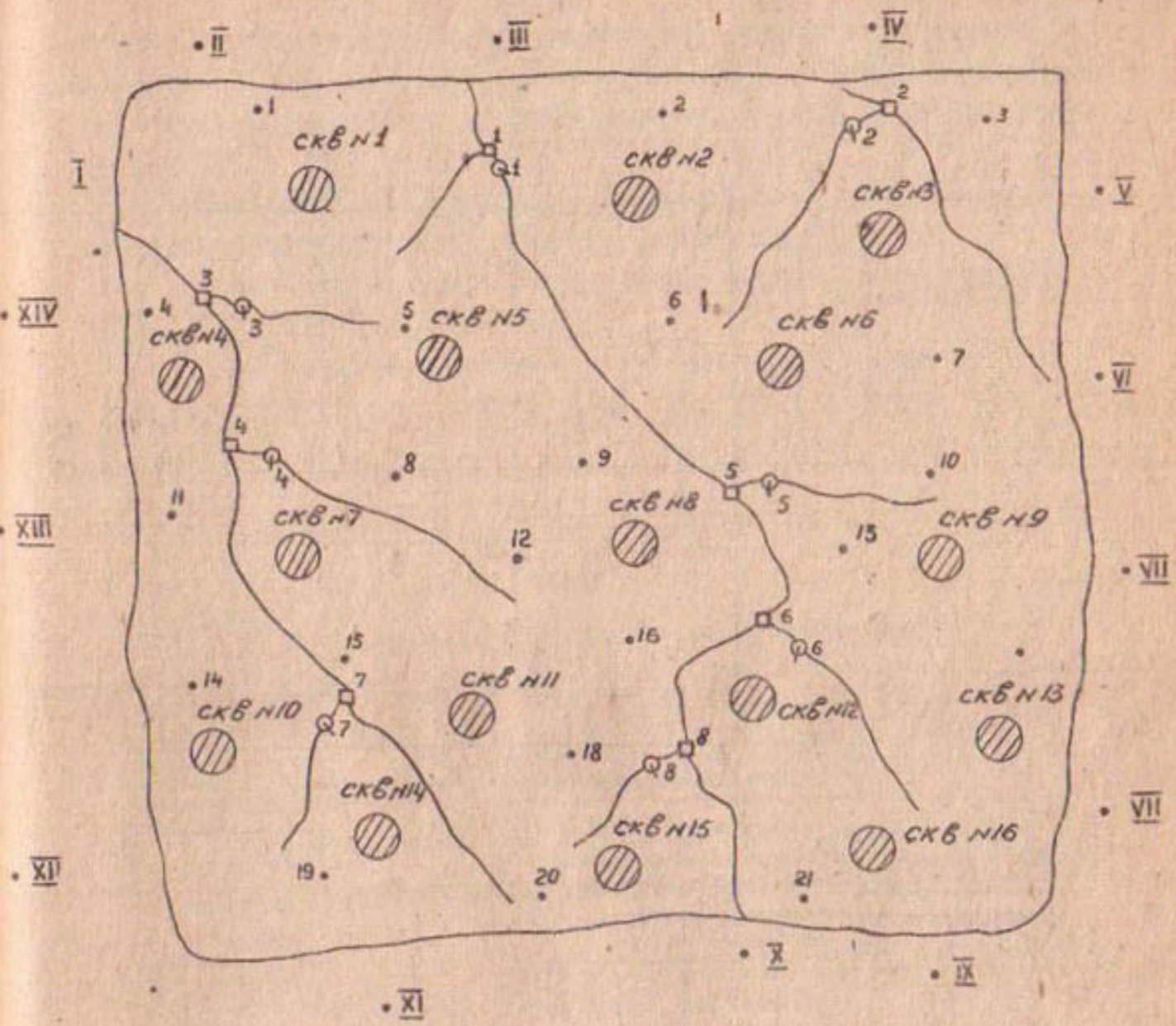


Рис.I.Схема управляемого участка вертикального дренажа;

скв 1 – объект управления-скважина вертикального дренажа;

□1 – объект управления-водовыпуск в хозяйство(входит в АСУ УОС

•1 – пункт информации о мелиоративном состоянии на участке;

•I – пункт информации о мелиоративном состоянии на соседнем,с управляемым участком;

Q1 – пункт информации о расходе воды, подаваемой в хозяйство.

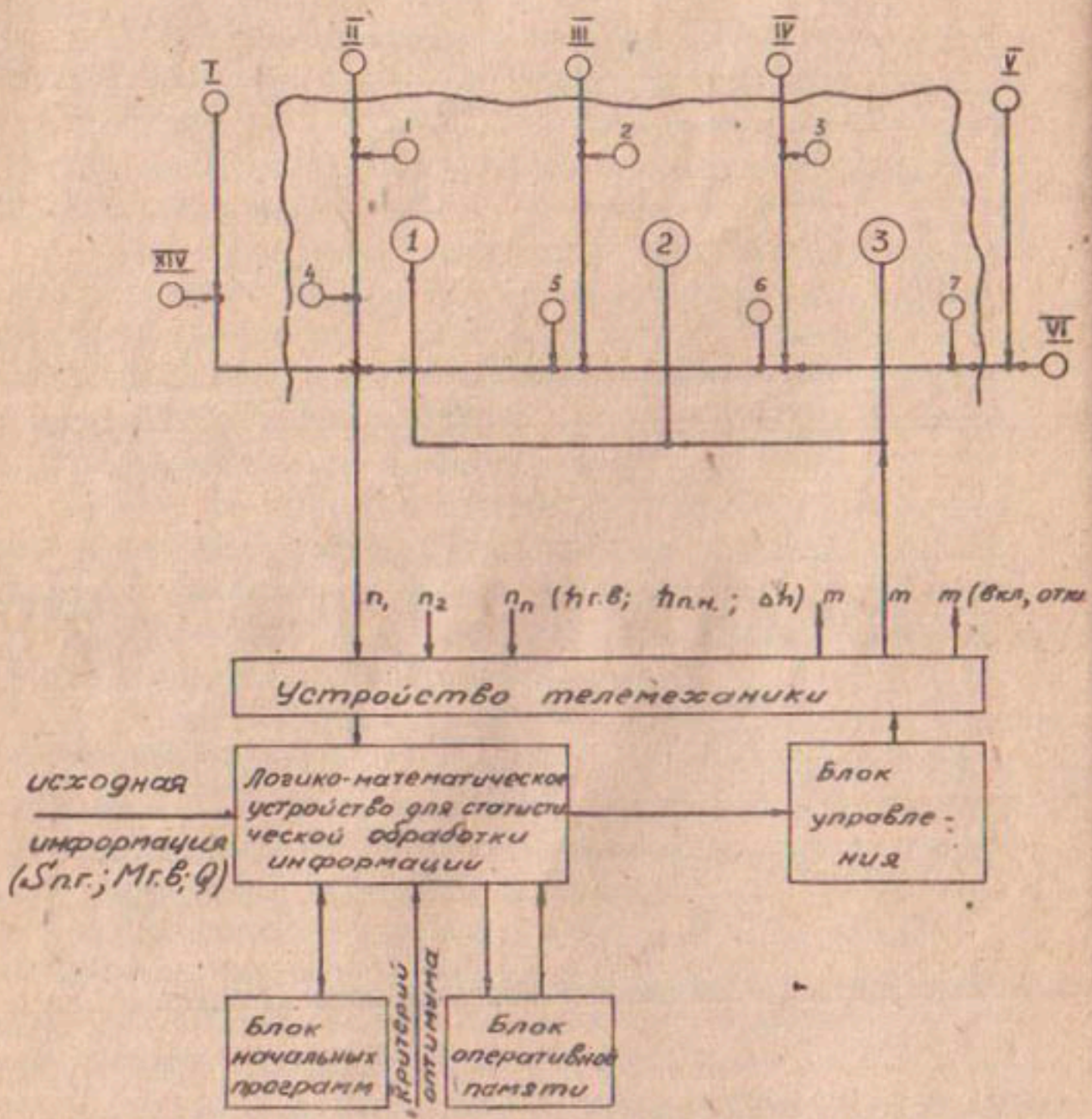


Рис.2.Структурная схема объекта управления с применением ЭВУМ:

$\frac{n-1}{}$ -возмущающее воздействие;

$\frac{m}{}$ -управляющее воздействие.

зимний период или то же при поливе в вегетационный период, а также при остановках работавших до этого скважин вертикального дренажа на данном участке, или на смежных с данным участками.

Управляющие воздействия направляются устройством управления непосредственно объекту управления.

Граничные условия, определяющие необходимость управления объектом, будут следующие.

а) остановка системы вертикального дренажа при

$$h_{г.в.} - h_{п.н} = +\Delta h,$$

$$S_{п.г.} \leq S_{доп},$$

$$M_{г.в.} \leq M_{доп},$$

б) пуск системы вертикального дренажа при

$$h_{г.в.} - h_{п.н} = -\Delta h$$

$$S_{п.г.} > S_{доп},$$

$$M_{г.в.} > M_{доп},$$

где $S_{доп}$ – величина степени засоления почво-грунтов, принятая допустимой для данного района;

$M_{доп}$ – то же – минерализация грунтовой воды.

Алгоритмы управления системами вертикального дренажа

Системы вертикального дренажа могут быть отнесены к объектам управления, для которых трудно точно определить их поведение из-за сложности происходящих в них процессов, а также недостаточности получаемой информации об их состоянии.

Поэтому алгоритм управления таких систем может быть построен на принципе статистических оценок состояния и последующего развития происходящих в них процессов.

На основе анализа получаемой при этом информации определяется и зона оптимума протекания процесса. Такие управляющие системы называются самонастраивающимися и адаптирующимися.

Теория самонастраивающихся систем находится пока в начальной стадии формирования, хотя уже имеются реальные попытки создания их для целей автоматического управления /3/.

Большинство систем автоматического управления работает под действием различных возмущающих воздействий, из которых часть является случайными функциями времени.

Для ряда систем, в том числе и для системы вертикального дренажа, влияние воздействий случайного характера имеет доминирующее значение и поэтому возникает задача определения управляющих воздействий по статистическим характеристикам наблюдаемых входных величин и по известным параметрам системы.

Накопленный материал по результатам наблюдений за некоторыми случайными возмущающими воздействиями дает возможность построения математического ожидания функции $\Phi(y)$. При этом задача состоит в том, что при n наблюдениях за воздействием случайного параметра y получают значения

$$y_1, y_2, \ldots y_n.$$

Эти значения образуют некоторую случайную выборку из совокупности возможных значений величины y. На основе полученных данных требуется определить функцию $\Phi(y)$ для плотности распределения случайной величины y.

Наилучшим образом функция $\Phi(y)$ находится по ее максимуму (или минимуму); таким образом, определяется вероятное воздействие случайного характера y на объект управления.

Используя указанный метод можно строить статистически обучаемые системы, аналогичные приведенной на рис.2.

В систему управления (в блок начальных программ) предварительно закладываются некоторые программы работы установок вертикального дренажа, которые могут и не обеспечить оптимум процесса рассоления при работе скважин.

Путем предварительных запросов автоматически собирается статистическая информация, включающая в себя значения основных параметров, определяющих режим данного процесса.

Одновременно с фиксацией каждого значения из группы основных параметров $h_{г.в.}$, $h_{п.н.}$, Δh отмечаются значе-

ния и других переменных величин, связанных с тем или иным основным параметром (минерализация и расход откачиваемой воды и т.д.).

Кроме того, фиксируются значения вспомогательных параметров $З_{п.к.}$, $М_{г.в.}$, Q, корректированных с основными, по которым можно осуществлять прогнозирование.

На основе полученных данных строятся функции распределения для каждого основного параметра при различных значениях вспомогательных параметров.

По функциям распределения будут отыскиваться максимально допустимые значения основных параметров при различных значениях состояния объекта (происходит процесс засоления или рассоления) и находятся их среднеквадратичные значения. Эти данные передаются в устройства программы работы установок, а разности используются как поправки на текущее состояние, выбираемое по прогнозируемым параметрам.

Достоверность получаемой информации в результате усреднения и отсеивания случайных значений при статистической обработке значительно повышается.

Исследования, необходимые для обоснования алгоритма управления

Выполнение управления системами вертикального дренажа, работающими для рассоления почво-грунтов, технически осуществимо.

В основе управления лежат переменные параметры, характеризующие мелиоративное состояние системы.

Задачами исследований в этом направлении будут: уточнение этих параметров, и зависимостей между ними, установление периодичности измерений, определение мелиоративное состояние какой территории характеризует измеряемый параметр и др.

Требуется проводить исследования, результатами которых должны быть рекомендации по приборам для измерения параметров

и технические требования к средствам сбора и передачи информации и управления системой вертикального дренажа.

Перечисленные работы должны вестись комплексно специалистами мелиораторами и автоматчиками, так как только при этом могут быть получены наиболее обстоятельные и полные результаты.

Кроме этого необходимо участие специалистов по управляющим математическим машинам, которыми должны быть составлены технические требования к таковым для управления системой вертикального дренажа, а также выполнено математическое обеспечение вопроса.

Выводы

I. Управление системами вертикального дренажа в целях рассоления почво-грунтов - задача весьма актуальная, решение которой базируется на установлении параметров, характеризующих мелиоративное состояние территории, и в зависимости от их значений включение или отключение скважин вертикального дренажа и подачу воды на промывки и поливы.

2. Эксплуатация систем вертикального дренажа без средств автоматики и телемеханики при массовом внедрении вертикального дренажа практически неосуществима.

3. Наиболее полно управление системой вертикального дренажа может быть выполнено соответствующими средствами сбора информации и управления в сочетании с управляющей математической машиной.

4. Система вертикального дренажа по своей специфике из-за сложности и трудности изучения происходящих в ней процессов, а также возможности недостаточной точности получаемой информации о ее состоянии может быть отнесена к самонастраивающей системе, а управление ею может быть осуществлено статистически обучаемой системой.

5. Целесообразно совмещение использования ЭВМ для осуществления водораспределения на массиве и управления вертикальным дренажем.

6. Для дальнейших работ в данном направлении необходимо проведение комплекса исследований, осуществление которых должно вестись мелиораторами, автоматчиками и специалистами по электронным управляющим машинам.

ЛИТЕРАТУРА

I. Борзенко И.М., Гутнер Б.Г. и др. Исходная постановка (формализации) задачи синтеза алгоритмов управления технологическими процессами. Вопросы промышленной кибернетики, Тр.ЦНИИКА, вып.26, М., 1968.

2. Кадыров Х.А., Яромецкий Л.М. О способах управления вертикальным дренажем в целях рассоления, Тр.САНИИРИ, вып. , Ташкент, 1970.

3. Лоскутов В.И. Управляющие математические машины, Изд-во "Машиностроение", М., 1967.

4. Яромецкий Л.М. Внешнее электроснабжение и управление установками вертикального дренажа. В обзорной информации ЦБНТИ ММиВХ СССР "Проектирование, строительство и эксплуатация систем вертикального дренажа", № 5, М., 1969.

М.А.КУРМАНБАЕВ, П.Н.ПАК

О ТЕРМИНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ МАШИННОГО ВОДОПОДЪЕМА

Некоторые термины, употребляемые в настоящее время в технической литературе в области машинного водоподъема, не могут считаться совершенными и удобными для научного общения.

Одни и те же понятия, явления, величины у разных авторов и в различных научных трудах пишутся и обозначаются по-разному. Так, например, термины "производительность", "расход", "подача" обозначают объем воды в кубических метрах или литрах, протекающий за единицу времени ($м^3$/сек, л/сек, $м^3$/час); "скорость вращения", "число оборотов", "оборотность" – количество оборотов машины за единицу времени (об/мин); "статический напор", "геометрический напор", "геодезический напор" – разность отметок верхнего и нижнего бьефов и т.д.

Если термины "подача", "производительность" применимы по отношению к водоподъемным машинам и будут обозначать количество воды, которое поднимает насос в единицу времени, то применение этих терминов в отношении гидротехнических сооружений окажется неудачным. Здесь более уместен термин "расход".

"Оборотность" – термин, в свое время рекомендованный Комитетом технической терминологии АН СССР /I/, хорошо отражает картину явления, обозначающего количество оборотов любой вращающейся машины за единицу времени, но плохо согласуется с технической лексикой, где это понятие продолжает обозначаться выражением "число оборотов". Слово "оборотность" в технике не привилось.

Выражение "машинный канал" у одних авторов обозначает канал, куда поступает только та вода, которая прошла через насосы. В этом случае подводящий канал насосной станции первого подъема не считается машинным. Другие авторы считают "машинным каналом" все каналы (подводящие и отводящие), в системе которых имеется насосная станция.

По примеру гидроэнергетики на мелиоративных насосных станциях нашли употребление выражения: "собственные нужды", "трансформатор собственных нужд". Смысловой анализ этих выражений показывает неправильность их применения для насосных станций. Всякое потребление электроэнергии на насосной станции является затратой на собственные нужды. Здесь нет не собственных нужд. Для насосных станций правильнее будет употребление выражений: "вспомогательные нужды", "трансформатор вспомогательных нужд".

По примеру гидроэнергетики принято название "спиральная камера центробежного насоса". Право на самостоятельное существование этот термин приобретает благодаря тому, что между рабочим колесом и спиральной камерой существует еще направляющий аппарат. На центробежных же насосах направляющего аппарата нет и спиральная камера одновременно является и корпусом насоса, поэтому ее правильнее именовать "спиральный корпус насоса".

Насосы, предназначенные непосредственно для мелиоративного водоподъема, в одном случае называются главными насосами, в другом - основными насосами.

Таких примеров, где уточнение терминологии является полезным и необходимым, можно привести множество.

Применительно к машинному водоподъему техническая терминология может быть конкретизирована, уточнена и расширена в специфическом направлении. Это уточнение должно ликвидировать применение научно необоснованных и с неточным смысловым содержанием слов и выражений в научных трудах, официальной переписке и технической литературе.

В настоящее время существует ряд терминологических справочников, выпусков трудов АН СССР, посвященных отдельным разделам науки и техники. Некоторые термины и понятия являются общими для различных отраслей техники. Поэтому при составлении нижеприведенной таблицы терминов в машинном водоподъеме мы просмотрели литературные источники по терминологии, включая области, смежные с машинным водоподъемом, но не имеющие непосредственного отношения к ним /I,2,3,4,5,6, 7,8,9/.

Таблица

Некоторые термины, употребляемые в области машинного водоподъема

№ № п.п.	Рекомендуемые термины	Определение	Нерекомендуемые варианты терминов
I	2	3	4
	I. Общие вопросы		
I	Расход - для гидротехнических сооружений	Объем воды, протекающий через сооружение за единицу времени ($м^3$/сек, л/сек)	Подача, производительность
2	Подача, производительность	Объем воды, подаваемый насосом за единицу времени ($м^3$/сек, л/сек)	Расход
3	Напор статический	Разность отметок свободных поверхностей воды у всасывающей трубы и в водовыпускном сооружении насосной станции	Нивелирный, геодезический напор
4	Напор насоса рабочий	Напор насоса, необходимый для преодоления статического напора и гидравлических сопротивлений во всасывающем и нагнетательном трубопроводе	Напор полный
5	Машинный водоподъем	Перемещение воды с менее низких отметок на более высокие при помощи механических средств водоподъема	Насосный водоподъем
6	Основное оборудование	Оборудование, производящее непосредственный мелиоративный водоподъем (насосы, электродвигатели)	

I	2	3	4
7	Вспомогательное оборудование насосной станции	Оборудование, обеспечивающее нормальную безаварийную работу основного оборудования	
8	Главные насосы	Насосы, производящие непосредственный мелиоративный водоподъем	Основные насосы
9	Вспомогательные электрические нужды (ВЭН)	Потребление электроэнергии на вспомогательные устройства насосной станции	Собственные нужды насосной станции
I0	Насосная станция мелиоративная	Общее название всех насосных станций (оросительных, осушительных), служащих для улучшения мелиоративного состояния земель	
II	Насосная станция оросительная	Насосная станция, подающая воду на орошение новых земель или на улучшение водообеспеченности освоенных земель	
I2	Насосная станция осушительная	Насосная станция для откачки воды из дренажных коллекторов и скважин вертикального или горизонтального дренажа	
I3	Насосная станция первого подъема	Насосная станция, поднимающая воду от водоисточника (реки, канала, водохранилища) до машинного канала	Насосная станция первой ступени
I4	Насосная станция второго подъема	Насосная станция, предназначенная для дальнейшей перекачки воды, поступающей от насосной станции первого подъема	Насосная станция второй ступени

I	2	3	4
I5	График водопотребления	График годового потребления воды для орошения земель	
I6	График водоподачи насосной станции	График годовой подачи воды насосной станцией	
I7	Насосная станция стационарная Насосная станция постоянная	Насосная станция, предназначенная для работы в течение неопределенно долгого времени (большого количества сезонов)	
I8	Насосная станция плавучая	Насосная станция, у которой основное, вспомогательное и электрическое оборудования установлены на плавучих средствах (плоты, понтоны, лодки и т.п.)	
I9	Насосный агрегат крупный	Вертикальный насосный агрегат с подачей 4 $м^3$/сек и более	
20	Насосный агрегат средний	Вертикальный насосный агрегат с подачей менее 4 $м^3$/сек или горизонтальный агрегат с подачей более I $м^3$/сек	
2I	Насосный агрегат малый	Горизонтальный насосный агрегат с подачей менее I $м^3$/сек	Насосная станция мелкая
22	Временная эксплуатация крупной насосной станции (х)	Период эксплуатации насосной станции сроком до двух лет, в течение которого производится полное освоение оборудования и сооружений	
23	Постоянная эксплуатация крупной насосной станции	Период эксплуатации насосной станции после окончания временной	

х) К средним и малым насосным станциям период временной эксплуатации не относится

I	2	3	4
24	Насосная станция горизонтального дренажа	Насосная станция, предназначенная для откачки воды из системы закрытого горизонтального дренажа в открытый коллектор	
25	Насосная установка вертикального дренажа	Вертикальный насосный агрегат, установленный в скважине и предназначенный для понижения уровня грунтовых вод путем откачки воды из скважины	
26	Насосная станция сезонная	Насосная станция, включаемая в работу только в вегетационный период года	
27	Насосная станция круглогодичная	Насосная станция, эксплуатируемая в течение всего года без перерыва	
28	Здание насосной станции незаглубленного типа	Здание с горизонтальными насосами, которые установлены выше горизонта воды в нижнем бьефе (с насосами с положительной высотой всасывания)	Насосная станция водопроводного типа
29	Здание насосной станции заглубленного типа	Здание с горизонтальными или вертикальными насосами, которые установлены ниже уровня воды в нижнем бьефе	

I	2	3	4
	II. Гидротехнические сооружения насосной станции		
I	Канал подводящий	Канал, подводящий воду от водоисточника к насосной станции	Машинный канал
2	Аванкамера	Гидротехническое сооружение, служащее для сопряжения подводящего канала со всасывающими трубами насосов	Водоприемная камера
3	Температурно-осадочный компенсатор трубопровода	Устройство, служащее для компенсации продольных, угловых и вертикальных перемещений трубопровода от температурных изменений и осадки фундаментов	Компенсатор
4	Сифонный оголовок напорного трубопровода	Оголовок, работающий по принципу сифона при выпуске воды из трубопровода в водовыпускное сооружение	
5	Водовыпускное сооружение	Гидротехническое сооружение, предназначенное для приема воды, вытекающей из оголовка напорного трубопровода и сопряжения ее с машинным каналом	Водосбросное сооружение
6	Машинный канал, отводящий канал	Канал, в который поступает вода, прошедшая через насос. Для насосных станций второго подъема подводящий канал (см.п.П.I) будет являться одновременно и машинным	

1	2	3	4
7	Водозаборное сооружение	Гидротехническое сооружение, предназначенное для забора воды из водоисточника в подводящий канал или аванкамеру	

В настоящей статье рассматриваются только те термины, которые являются специфичными для машинного водоподъема(табл.).

Термины, рекомендованные в специальных выпусках Комитетом технической терминологии АН СССР и широко применяемые в мелиорации и смежных областях народного хозяйства, нами не рассматриваются, за исключением тех случаев, когда в самих этих выпусках наблюдаются неточности. Так, например, в выпуске № 21 -"Терминология гидротурбины" и в выпуске № 56 - "Лопастные насосы" одно и то же понятие рекомендовано в одном случае называть "статический напор", в другом-"геометрический напор".

Цель настоящей статьи - попытка улучшения качества естественно сложившейся терминологии в области машинного водоподъема.

Разработка упорядоченной системы терминологии - кропотливый,длительный процесс. Поэтому авторы считают, что данная работа является только началом такого упорядочения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Терминология гидротурбин, Комитет технической терминологии АН СССР, 1953.
2. Терминология гидротехники, Комитет технической терминологии АН СССР, 1955.
3. Терминология гидромеханики, Комитет технической терминологии АН СССР, 1947.
4. Терминология механики жидкости, Комитет технической терминологии АН СССР, 1952.
5. Терминология деталей машин, Комитет технической терминологии АН СССР, 1953.
6. Терминология основных понятий автоматики, Комитет технической терминологии АН СССР, 1954.
7. Терминология водоподготовки для паровых котлов, Комитет технической терминологии АН СССР, 1956.

8. Лопастные насосы центробежные и осевые, Терминология и буквенные обозначения, Комитет технической терминологии АН СССР, I96I.
9. Флоринский М.М.,Рычагов В.В."Наносы и насосные станции", I Изд-во "Колос",I967

В.Н.МАШКОВ, А.Я.БЕЛОУСОВ

ЭНЕРГОБАЛАНС НАСОСА ЭЦВ12-255-30М

Технические характеристики насоса, прилагаемые заводом-изготовителем к насосным агрегатам, не позволяют судить о потерях в элементах насосной установки, а без анализа потерь по элементам проточной части невозможна отработка высокоэффективной ступени.

Для определения элементов потерь энергии был выбран наиболее распространенный в Узбекской ССР насос для вертикального дренажа марки ЭЦВ12-255-30М.

Потери энергии в насосе слагаются из:

а) потерь в подшипниках насоса;

б) потерь в подводящих каналах (на входе);

в) дисковых потерь;

г) объемных потерь через уплотнительные кольца;

д) потерь при преобразовании энергии в рабочем колесе и направляющем аппарате.

Потери в подшипниках насоса определялись следующим образом. Насос агрегатировался с мотор-весами, установленными на специальном стенде для исследования электропогружных насосов. Уровень воды в обсадной трубе устанавливался ниже рабочего колеса так, чтобы оно вращалось в воздухе. К верхнему подшипнику насоса по специальной трубе подводилась вода для его смазки. С помощью мотор-весов замерялась мощность, потребляемая насосом. Вес груза, установленного на весах, равнялся $P = 87,15$ кг, весы разгружались, плечо рычага (расчетное) $\ell = 0,157$ м.

Среднее значение десятикратных измерений показаний мотор-весов приведены в таблице I.

Затем демонтировалось рабочее колесо вместе с валом и измерялся крутящий момент при работе мотор-весов. Он оказался практически равным нулю.

Таблица I

№ № п.п.	Показание весов, кг	Усилие на конце рычага, кг	Число оборотов, об/мин	Мощность, потребляемая насосом при вращении раб.колеса в воздухе, квт
I.	85	2,I5	2994	I,0I

При изменении направления вращения ротора в прямом и обратном направлении усилие на конце рычага было меньше, чем от давления столба жидкости (H = I м), действующее на шток, передающий усилие от рычага.

Таким образом, потери мощности в подшипниках насоса совпали с мощностью, потребляемой насосом в первом случае $N_{пр}$ = I,0I квт.

Потери на входе определялись путем замера давлений на входе в рабочее колесо и в обсадной колонне перед погружным электродвигателем. Потери на входе вычислялись как разница суммы давлений и скоростных напоров в этих двух точках (табл.2).

Потери мощности на дисковое трение определялись экспериментально при вращении рабочего колеса с заглушенными входом и выходом в воде и в воздухе.

Таблица 2

№ № п.п	Подача насоса, л/сек	Разница давлений перед входом в раб.колесо и двигателем м.вод.ст.	Разница в скоростных напорах м.вод.ст.	Потери на вход м.вод. ст.	Коэффициент сопротивления на входе
I.	65	2,2I	I,46	0,75	0,5I4
2.	70	2,52	I,69	0,83	0,49I
3.	75	2,88	I,94	0,94	0,484
4.	80	3,28	2,2	I,08	0,49I
5.	85	3,8	2,5	I,3	0,52
Ср. арифм.					0,5

$$N_{дт} = N'_{дт} - N''_{дт},$$

где $N'_{дт}$ – суммарная мощность дискового трения рабочего колеса, включая мощность трения по добавочным поверхностям на входе и выходе;

$N''_{дт}$ – мощность дискового трения по добавочным поверхностям.

$$N'_{дт} = \frac{\sigma n'}{102 \cdot 30} (P - \Delta P) l \left(\frac{n}{n'}\right)^3 \text{квт},$$

где P – усилие, передаваемое на весы от реактивного момента балансирного электродвигателя, кг;

ΔP – то же, соответствующее мощности при вращении рабочего колеса в воздухе;

l – плечо рычага балансирного электродвигателя, м;

n' – число оборотов в процессе опыта, об/мин;

n – номинальное число оборотов, об/мин.

В таблице 3 приведены результаты замеров мощности и напора, развиваемого рабочим колесом с заглушенными входными и выходными отверстиями благодаря фрикционному центробежному эффекту на наружных дисках рабочего колеса.

Таблица 3

№ № п.п	Мощность, потребляемая насосом при вращении раб. колеса: в воде, квт	на воздухе, квт	Давление в напорном трубопроводе м.вод.ст.	Дисковые потери в насосе, квт
I.	2,39	I.0I	8,4	I,38

Экспериментальное определение мощности дискового трения по добавочным поверхностям (конусная поверхность бандажа, закрывающая выходные отверстия и диск, закрывающий входные) представляет значительные трудности. Однако достаточно гладкие поверхности бандажа и диска на входе рабочего колеса дают основание пренебречь потерями на них. Объемные утечки через уплотнение рабочего колеса определялись расчетно-экспериментальным методом.

Объемные потери в насосе определялись следующим образом. Насос с рабочим колесом, входные и выходные каналы которого были закрыты, устанавливался на стенде. Насосная часть стенда опоражнивалась и в напорный трубопровод от постороннего источника подавалась вода под давлением, величина которого измерялась образцовым манометром. $P_в$ сход воды, протекающий через уплотнение рабочего колеса, определялся объемным способом путем замера изменения объема воды во всасывающей части трубопровода и времени накопления.

По полученным данным вычислялось значение μ в формуле Шези:

$$q_{об} = \omega \mu \sqrt{2g H_p},$$

где ω – поперечное сечение щели уплотнения;

μ – коэффициент расхода уплотнения;

H_{pi} – напор, теряемый в уплотнении.

Поперечное сечение щели составляет 1,3 см^2 при диаметре уплотнения D_i = 140 мм. Число Рейнольдса Re =6900, что указывает на турбулентный режим истечения и дает право применять формулу Шези.

Среднее значение получилось равным μ = 0,25. Затем для каждого напора насоса вычислялся расход через уплотнительные кольца, при этом в формулу Шези подставлялась разница напора насоса и напора, создаваемого при вращении рабочего колеса. Потери мощности вычислялись как

$$N_{об} = \frac{q_{об} H}{\eta_{рп}},$$

где $q_{об}$ – объемные потери через уплотнительные кольца;

H – напор насоса;

$\eta_{рп}$ – к.п.д. преобразования энергии в рабочем колесе. Принят условно равным к.п.д.насоса.

В таблице 4 приведены результаты расчета потерь энергии от объемных потерь через уплотнение рабочего колеса.

В результате проведенных исследований был составлен энергетический баланс электропогружного насоса ЭЦВ12-255-30М (№ 187), который графически изображен на рис.1.

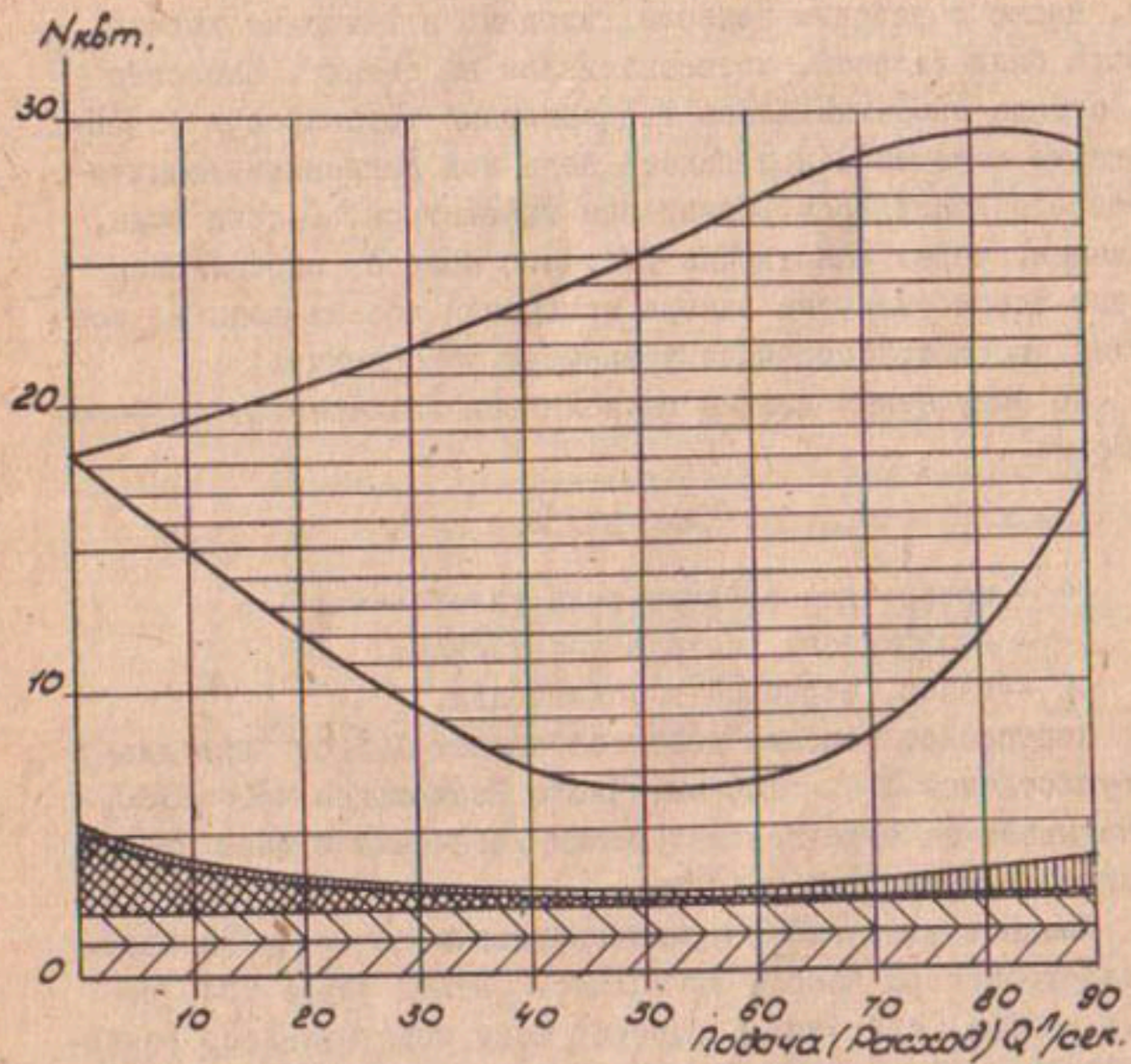


Рис. Баланс мощности электронасоса ЭЦВ12-255-30М (насос № 187).

Таблица 4

№ п.п.	По рабочей характеристике насоса: Q, л/сек	H, м.вод.ст.	H − ΔH, м.вод.ст.	Q, изм л/сек	$N_{об}$ квт
I.	I0	46,9	38,4	0,69	2,0
2.	20	45,3	36,8	0,88	0,94
3.	30	44	35,5	0,85	0,60
4.	40	39,2	30,7	0,8I	0,40
5.	50	36,5	28	0,76	0,32
6.	60	33,7	25,2	0,72	0,25
7.	70	32	23,5	0,69	0,22
8.	80	28,7	20,2	0,65	0,I8
9.	90	24,8	I6,3	0,58	0,I3

Насос ЭЦВI2-255-30М имеет осевой выправляющий аппарат и стесненный подвод к рабочему колесу. Несмотря на это его к.п.д. находится на таком же уровне, как и у насосов со спиральным отводом (например, типа К), что указывает на его высокие гидравлические качества.

Следует отметить, что потери на вход довольно значительны и это указывает на необходимость совершенствования входа в рабочее колесо электропогружных насосов.

ЛИТЕРАТУРА

I. Горгидзанян С.А., Дягилев А.И. Погружные насосы для водоснабжения и водопонижения, Л., Машгиз, I968.

2. Ломакин А.А. Центробежные и пропеллерные насосы, М.-Л., Машгиз, I950.

3. Лянков П.Д. О гидравлическом к.п.д. погружных центробежных насосов для скважин "Вестник машиностроения", I965, № 9.

4. Руднев С.С. Баланс энергии в центробежном насосе, "Химическое машиностроение", I938, № 3.

5. Пфлейдерер К. Лопаточные машины для жидкостей и газов, М., Машгиз, I960.

П.Н.ПАК

К ТЕОРИИ ЧЕТЫРЕХКАМЕРНОГО РАДИАЛЬНОГО ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА

Все крупные насосные станции Средней Азии оборудованы центробежными и осевыми насосами, на которых установлены направляющие подшипники гидродинамического типа с резиновыми или лигнофолевыми вкладышами, смазываемые перекачиваемой или предварительно осветленной водой. Однако, твердые абразивные частицы, содержащиеся в смазочной воде, приводят к быстрому износу трущиеся пары, так как толщина смазочной пленки (при удельных нагрузках 3–4 кг/см^2 составляет всего 5–10 микрон) меньше размеров твердых частиц.

В подшипниках скольжения гидростатического типа /4,5/ толщина смазочной пленки регулируется давлением, создаваемым извне вспомогательным насосом. Это дает возможность создать такую толщину смазочной пленки, при которой большинство твердых частиц свободно пройдут между цапфой и подшипником, что уменьшит их износ.

Несмотря на определенные преимущества гидростатические подшипники до настоящего времени не получили применения в крупных вертикальных насосах из-за отсутствия достаточно обоснованной теории и методики их расчета.

Предлагаемая работа является попыткой уточнить некоторые вопросы теории гидростатического четырехкамерного радиального подшипника, разработкой и исследованиями которого лаборатория водоподъемных машин САНИИРИ занимается с 1967 г.

Целью теоретического исследования являлось определение грузоподъемности подшипника и расхода смазочной воды аналитическим методом. При этом была использована методика, принятая Н.П.Черноусовым /5/ с необходимыми поправками.

Методика теоретического исследования будет определяться режимом течения воды в щелях подшипника. С.А.Абдурашитов и Л.А.Зорьян /1/ предложили следующую формулу крити-

ческого числа Рейнольдса для щели:

$$Re_{кр} = 1{,}124 \cdot 10^{6}\frac{\delta}{\ell_1},$$ где δ – зазор в щели, мм;
ℓ_1 – длина щели, мм.

Для исследуемого подшипника (δ = 0,15 мм, ℓ_1 = 24 мм) получаем $Re_{кр}$ = 7050. Действительное число Рейнольдса определяем по формуле

$$Re = \frac{\sqrt{v^2 + \left(\frac{u}{2}\right)^2}}{\nu} 2\delta,$$

где $v = \frac{Q_n}{2\pi d_n \cdot \delta}$ – средняя скорость воды в зазоре, м/сек;
(Q_n – расход воды через подшипник, м^3/сек;
d_n – диаметр подшипника, м);
u – линейная скорость вращения вала, м/сек;
ν – кинематический коэффициент вязкости воды, м^2/сек.

Для исследуемого подшипника (Q_n =0,003 м^3/сек, d_n =0,157 м, n = 793 об/мин) получено Re =6100 < $Re_{кр}$.

Режим течения воды в диафрагмах с острыми кромками принимаем турбулентным, а в щелях – ламинарный.

Следует отметить следующие упрощающие допущения при теоретическом исследовании работы подшипника:

а) жидкость (вода) не сжимаема;

б) поверхности цапфы и подшипника идеально гладкие и имеют гладкую цилиндрическую форму;

в) геометрические размеры всех камер и перегородок одинаковы.

Грузоподъемность подшипника определялась при нагружении по типу I, т.е. по направлению центра камеры (рис.I).

Полная грузоподъемность подшипника вычислялась как сумма разностей грузоподъемностей противоположных участков камер, торцовых и межкамерных перегородок:

$$F = (F_1' - F_3') + 2(F_1'' - F_3'') + 2(F_2'' - F_3''), \qquad (I)$$

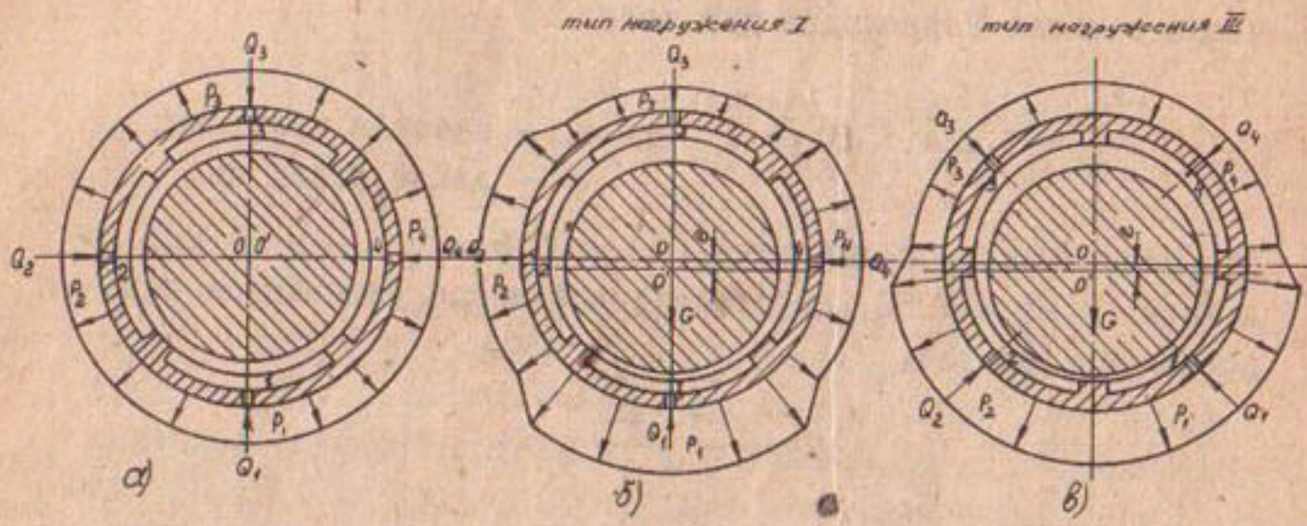


Рис.I. Эпюра давлений в камерах гидростатического подшипника:
а) подшипник не нагружен, б) нагрузка приложена по оси камеры, в) нагрузка - по середине межкамерной перегородки.

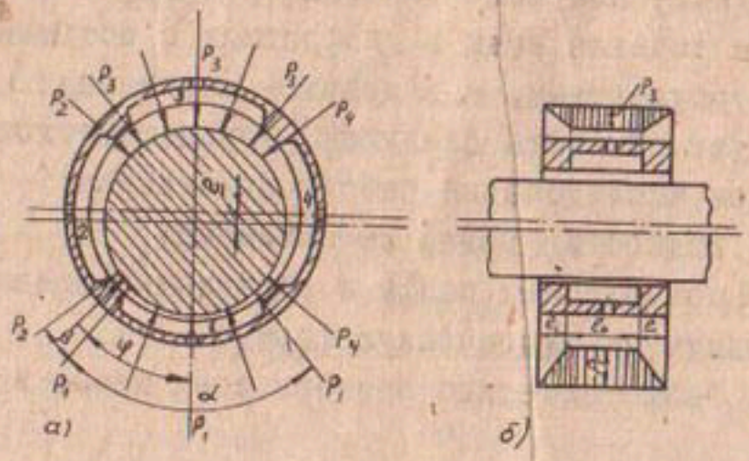


Рис.2. Расчетные схемы для определения грузоподъемности 4-камерного подшипника:
а)-камеры и межкамерных перегородок,
б)-торцовых перегородок.

где $F^{o}_{1(3)}$ – грузоподъемность участка камеры I или 3,

$F'_{1(3)}$ – то же торцовой перегородки в пределах камеры I или 3,

$F''_{1(3)}$ – то же межкамерной перегородки, примыкающей к камере I или 3.

Приняв обозначения такие же как на рис.2, получим грузоподъемность на участке камеры I или 3:

$$F^{o}_{1(3)} = 2\int_{0}^{\alpha/2} P_{1(3)}\, \ell_0 \frac{d_n}{2} \cos\gamma\, d\gamma. \qquad (2)$$

где $P_{1(3)}$ – давление в камере I или 3.

Результирующая грузоподъемность участка камер:

$$F^{o}_{1} - F^{o}_{3} = (P_1 - P_3)\ell_0 d_n \int_{0}^{\alpha/2} \cos\gamma\, d\gamma. \qquad (3)$$

При аналогичном виде формулы грузоподъемности участков камер 2 и 4 результирующая грузоподъемность равна нулю, так как при нагружении по типу I давления в камерах 2 и 4 равны.

Грузоподъемность участка торцовой перегородки в пределах ширины камеры I или 3:

$$F'_{1(3)} = 2\int_{0}^{\alpha/2} \frac{P_{1(3)}}{2}\, \ell_1 \frac{d_n}{2} \cos\gamma\, d\gamma$$

или (4)

$$F'_{1(3)} = \frac{1}{2} P_{1(3)}\, \ell_1 d_n \int_{0}^{\alpha/2} \cos\gamma\, d\gamma$$

Результирующая грузоподъемность участка торцовой перегородки:

$$F'_1 - F'_3 = \frac{1}{2}(P_1 - P_3)\ell_1 d_n \int_{0}^{\alpha/2} \cos\gamma\, d\gamma. \qquad (5)$$

Грузоподъемность участка межкамерной перегородки длиной $\ell_0 + 2\ell_1$ между камерами I – 2, I – 4 или 3 – 2, 3 – 4:

$$F''_{1(3)} = \int_{\alpha/2}^{\alpha/2+\beta} \frac{P_{1(3)} + P_{2(4)}}{2} (\ell_1 + \ell_0) \frac{d_n}{2} \cos\gamma\, d\gamma. \qquad (6)$$

В формуле (6) длина перегородки взята равной $\ell_0+\ell_1$, вместо $\ell_0+2\ell_1$, так как на обоих участках длиной ℓ_1 среднее давление будет $\frac{P_{1(3)}}{2}$ и $\frac{P_{2(4)}}{2}$. Для удобства берем давление $P_{1(3)}$ и $P_{2(4)}$ на участках перегородок полным, уменьшив длину ℓ_1 в два раза.

Результирующая грузоподъемность участков перегородок между камерами I-2, 3-4 или I-4, 3-4:

$$F_1''-F_3''=\frac{P_1+P_2-P_3-P_4}{2}(\ell_1+\ell_0)\frac{d_n}{2}\int_{\alpha/2}^{\alpha/2+\beta}\cos\gamma\,d\gamma$$

или (7)

$$F_1''-F_3''=\frac{P_1-P_3}{4}(\ell_1+\ell_0)d_n\int_{\alpha/2}^{\alpha/2+\beta}\cos\gamma\,d\gamma.$$

Полную грузоподъемность подшипника получим, подставляя в уравнение (I) уравнения (3), (5), (7)

$$F=(P_1-P_3)\ell_0 d_n\int_0^{\frac{\alpha}{2}}\cos\gamma\,d\gamma+(P_1-P_3)\ell_1 d_n\int_0^{\frac{\alpha}{2}}\cos\gamma\,d\gamma+$$

$$+\frac{1}{2}(P_1-P_3)(\ell_1+\ell_0)d_n\int_{\frac{\alpha}{2}}^{\frac{\alpha}{2}+\beta}\cos\gamma\,d\gamma.$$

или

$$F=(P_1-P_3)(\ell_0+\ell_1)d_n\int_0^{\frac{\alpha}{2}}\cos\gamma\,d\gamma+\frac{1}{2}(P_1-P_3)(\ell_0+\ell_1)d_n\times$$

$$\times\int_{\frac{\alpha}{2}}^{\frac{\alpha}{2}+\beta}\cos\gamma\,d\gamma. \qquad (8)$$

Интегрируя, получаем

$$F=(P_1-P_3)(\ell_0+\ell_1)d_n\sin\frac{\alpha}{2}+\frac{1}{2}(P_1-P_3)(\ell_0+\ell_1)d_n\cdot\left[\sin\left(\frac{\alpha}{2}+\beta\right)-\right.$$

$$\left.-\sin\frac{\alpha}{2}\right] \text{ или}$$

$$F=(P_1-P_3)(\ell_0+\ell_1)\frac{d_n}{2}\left[\sin\frac{\alpha}{2}+\sin\left(\frac{\alpha}{2}+\beta\right)\right] \qquad (9)$$

В формуле (9) геометрические размеры (ℓ_0, ℓ_1, α, β) определялись по экспериментальным данным из условия максимальной грузоподъемности, а диаметр подшипника d_n - из условия жесткости и прочности вала.

Для определения давления в камерах подшипника составим уравнения расхода каждой камеры при типе нагружения I (рис.3)

$$\begin{aligned} Q_1 &= 2Q_{10} + Q_{12} + Q_{14} \\ Q_2 &= 2Q_{20} + Q_{23} - Q_{12} \\ Q_3 &= 2Q_{30} - Q_{23} - Q_{43} \\ Q_4 &= 2Q_{40} + Q_{43} - Q_{14} \end{aligned} \qquad (10)$$

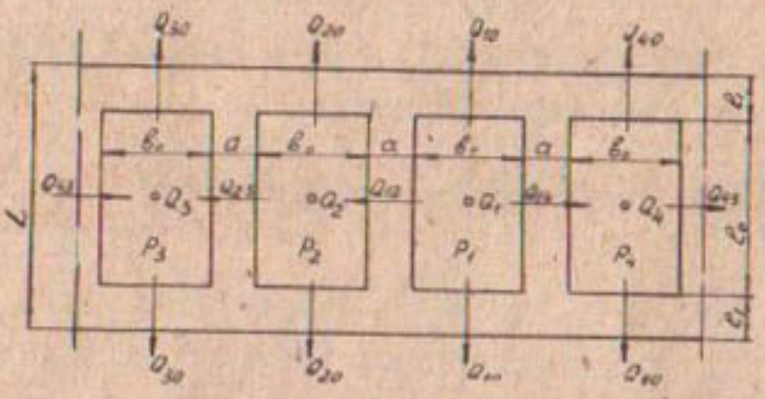


Рис.3. Схема течения воды в щелях 4-камерного радиального гидростатического подшипника.

Принимаем, что из каждой камеры вода вытекает через торцовые щели шириной $\delta_0 + a$ при давлении P_i.

Расход воды определяется: через дроссельные диафрагмы из известного уравнения

$$Q_i = m f_0 \sqrt{\frac{2g}{\gamma}(P_H - P_i)}, \qquad (11)$$

где P_H – давление подаваемой воды, кг/см^2;
P_i – давление в соответствующей камере, кг/см^2;
γ – удельный вес воды, кг/м^3;
f_0 – сечение отверстия диафрагмы, м^2;
m – коэффициент расхода через отверстие с острыми кромками;

через щель из уравнения Навье-Стокса

$$Q = \frac{\Delta p \cdot \delta^3 \cdot b}{12 \cdot \mu \cdot l}, \qquad (12)$$

Здесь Δp – перепад давления, кг/м^2;

δ – величина зазора, м;

b, l – ширина и длина щели, м;

μ – динамическая вязкость воды, кг·сек/м^2.

Используя формулы (11), (12), систему уравнений (10) преобразуем следующим образом:

$$\left.\begin{aligned}
m f_0 \sqrt{\frac{2g}{\gamma}(p_н - p_1)} &= p_1 \frac{\delta_{10}^3 (b_0 + a)}{6\mu l_1} + (p_1 - p_2)\frac{\delta_{12}^3 l_0}{6\mu a} \\
m f_0 \sqrt{\frac{2g}{\gamma}(p_н - p_2)} &= p_2 \frac{\delta_{20}^3 (b_0 + a)}{6\mu l_1} + (p_2 - p_3)\frac{\delta_{23}^3 l_0}{12\mu a} - (p_1 - p_2)\frac{\delta_{12}^3 l_0}{12\mu a} \\
m f_0 \sqrt{\frac{2g}{\gamma}(p_н - p_3)} &= p_3 \frac{\delta_{30}^3 (b_0 + a)}{6\mu l_1} - (p_2 - p_3)\frac{\delta_{23}^3 l_0}{12\mu a} - (p_4 - p_3)\frac{\delta_{43}^3 l_0}{12\mu a} \\
m f_0 \sqrt{\frac{2g}{\gamma}(p_н - p_4)} &= p_4 \frac{\delta_{40}^3 (b_0 + a)}{6\mu l_1} + (p_4 - p_3)\frac{\delta_{43}^3 l_0}{12\mu a} - (p_1 - p_4)\frac{\delta_{14}^3 l_0}{12\mu a}.
\end{aligned}\right\} \qquad (13)$$

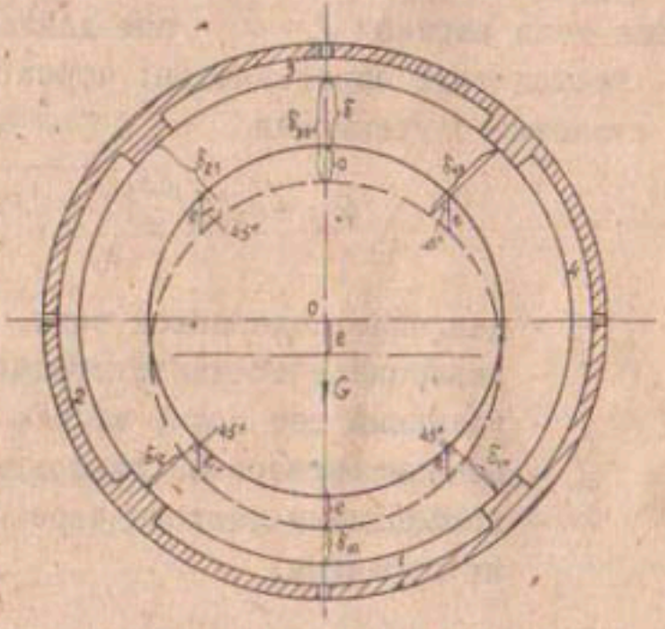


Рис.4. Схема изменения зазоров в щелях 4-камерного гидростатического подшипника.

Выразив толщину смазки δ_{10} и т.д. через радиальный зазор и абсолютный эксцентриситет вала в подшипнике e, получим

$$\delta_{ij} = \delta \pm e \cdot \cos\varphi. \qquad (14)$$

Для четырехкамерного подшипника

$$\delta_{10} = \delta - e$$
$$\delta_{20} = \delta_{40} = \delta$$
$$\delta_{30} = \delta + e$$
$$\delta_{12} = \delta_{14} = \delta - e \cdot 0{,}707$$
$$\delta_{23} = \delta_{43} = \delta + e \cdot 0{,}707.$$

В уравнении (13) обозначим δ через e, а ε через $\varepsilon\delta$ (где ε – относительный эксцентриситет), тогда

$$\left.\begin{aligned}
&m\mu_0\sqrt{\frac{2\rho}{\delta}(p_н - p_1)} = p_1\left[\frac{\delta^3(1-\varepsilon)^3(b_0+a)}{6\mu l_1} + \frac{\delta^3(1-\varepsilon\cdot 0{,}707)^3 l_0}{6\mu a}\right] - \\
&- p_2\frac{\delta^3(1-\varepsilon\cdot 0{,}707)^3 l_0}{6\mu a}. \\
&m\mu_0\sqrt{\frac{2\rho}{\delta}(p_н - p_2)} - p_2\left[\frac{\delta^3(b_0+a)}{6\mu l_1} + \frac{\delta^3(1+\varepsilon\cdot 0{,}707)^3 l_0}{12\mu a} + \frac{\delta^3(1+\varepsilon\cdot 0{,}707)^3 l_0}{12\mu a}\right. - \\
&- p_3\frac{\delta^3(1+\varepsilon\cdot 0{,}707)^3 l_0}{12\mu a} - p_1\left.\frac{\delta^3(1-\varepsilon\cdot 0{,}707)^3 l_0}{12\mu\cdot a}\right. \\
&m\mu_0\sqrt{\frac{2\rho}{\delta}(p_н - p_3)} = p_3\left[\frac{\delta^3(1+\varepsilon)^3(b_0+a)}{6\mu l_1} + \frac{\delta^3(1+\varepsilon\cdot 0{,}707)^3 l_0}{6\mu a}\right] - p_2\frac{\delta^3(1+\varepsilon\cdot 0{,}707)^3 l_0}{6\mu a}.
\end{aligned}\right\} \qquad (15)$$

Во всех уравнениях p_4 заменено p_2 и четвертое уравнение в системе уравнений (13) опущено, так как давление в камерах 2 и 4 равны между собой. Решая систему уравнений (15), предварительно задав величину относительного эксцентриситета ε для гидростатического подшипника с конкретными геометрическими размерами, найдем p_1, p_2, p_3, p_4.

Необходимый расход смазки Q_0 определялся аналитически как сумма расходов через дросселирующие диафрагмы

$$Q_0 = m\mu_0\sqrt{\frac{2\rho}{\delta}}\left(\sqrt{p_н - p_1} + \sqrt{p_н - p_2} + \sqrt{p_н - p_3} + \sqrt{p_н - p_4}\right). \qquad (16)$$

Коэффициент расхода m устанавливался по методам, предложенным В.И.Монаховым и А.Н.Павловским /2, 3/.

Подставляя в формулу (16) значения P_1, P_2, P_3, P_4, получим общий расход смазки через подшипник.

Расчетная грузоподъемность подшипника, определенная из уравнения (9) с использованием величин давлений в камерах, вычисленных решением системы (15) на ЭЦВМ "Минск-22", близко совпадает с полученной экспериментально.

Расход жидкости (воды) через подшипник, вычисленный по формуле (16), имеет аналогичное совпадение с данными экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдурашитов С.А., Зорьян Л.А. К вопросу определения коэффициента сопротивления в уплотнительных кольцах и промежуточных втулках центробежных насосов, "Машины и нефтяное оборудование", М., 1968, № 11.
2. Монахов В.И. Измерение расхода и количества жидкости газа и пара, Госэнергоиздат, М.-Л., 1962.
3. Павловский А.Н. Измерение расхода и количества жидкостей, газов и пара, Машгиз, 1951.
4. Пак П.Н. Подшипник скольжения гидростатического типа, Тр.САНИИРИ, вып.122, 1970.
5. Черноусов Н.П. и др. Герметические химико-технологические машины и аппараты, Машиностроение, М., 1965.

Р.СИМ, И.Б.ХАМАДОВ

ВЛИЯНИЕ СУХОГО (КУЛОНОВСКОГО) ТРЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАБОТЫ ЗАТВОРОВ-АВТОМАТОВ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

В открытой оросительной сети начинают получать применение гидравлические автоматы, стабилизирующие заданный уровень или расход воды /7/. Такие автоматические регуляторы подразделяются на затворы-автоматы прямого действия и непрямого действия в зависимости от связи чувствительного органа с регулирующим. Если чувствительный орган является непосредственно и регулирующим (затворы-автоматы Финке, Нейрпик, СПА и др.), или же воздействует на регулирующий посредством промежуточных звеньев, но без привлечения дополнительного источника энергии, то такие затворы-автоматы наз.прямого действия. Примером гидроавтомата непрямого действия является затвор-автомат Маковского Э.Э.

Лабораторные и натурные наблюдения за работой регуляторов показывают, что они обладают способностью входить в режим автоколебаний, а иногда и выходить из устойчивого состояния равновесия.

Выход регулятора из устойчивого равновесия является недопустимым с точки зрения их эксплуатации на оросительных системах, так как теряя свою регулирующую способность, они приводят в аварийное состояние сооружения, на котором установлены.

Автоколебания нежелательны, но допустимы в определенных пределах амплитуды.

Режим работы регулятора определяется свойствами как самого регулятора, так и объекта.

Характерным свойством затворов-автоматов, особенно прямого действия, является наличие сил сухого (кулоновского) трения на осях вращения, что вносит существенную нелинейность во взаимодействие регулятора и объекта.

Работа проводилась при консультации отдельных вопросов к.т.н.Маковского Э.Э.

Впервые задача о взаимодействии простейшего объекта (без самовыравнивания) и регулятора прямого действия, так называемая основная задача в теории прямого регулирования была поставлена и решена для случая отсутствия сил сухого трения И.А.Вышнегродским в работе "О регуляторах прямого действия" в 1876-1877 гг. /4/. Строго обоснованное решение нелинейной задачи (с учетом сухого трения) было получено А.А.Андроновым и А.Г.Майером в 1945 г. /1/.

В 1949 г. А.А.Таль исследовал влияние самовыравнивания объекта и воздействие по первой производной от регулируемой величины на решение основной задачи прямого регулирования /8/.

Ниже приводится исследование влияния сил сухого трения на устойчивость системы авторегулирования, состоящей из затвора-автомата и объекта. Затвор-автомат представляет собой регулятор прямого действия, стабилизирующий постоянный уровень верхнего бьефа со свободным истечением воды в нижний бьеф.

Верхний бьеф - это канал значительной протяженности, что исключает наличие обратных волн.

Рассматривается та область параметров системы авторегулирования, где соответствующая линейная система (без сухого трения) устойчива.

В отличие от случаев, приведенных в вышеуказанных исследованиях /1, 4, 6/, в данной работе объект представляет собой простейшее звено общего типа.

Исследование проводится методом фазового пространства с применением второй методы (теоремы) Ляпунова.

1. Уравнения движения системы

При выводе уравнения движения системы принимаем следующие допущения:

1) расход воды в верхнем бьефе изменяется в виде скачкообразного возмущения;

2) угол поворота затвора-автомата и уровень воды при их изменении отсчитываются от значений, соответствующих новому установившемуся режиму.

Уравнение движения регулятора с учетом сухого трения имеет вид:

$$J\frac{d^2\alpha}{dt^2} + K_в\frac{d\alpha}{dt} = M_{дв}(\alpha, h) - M_c(\alpha) \mp M_{тр}, \quad (I)$$

где J – момент инерции затвора-автомата, приведенный к оси его вращения;

$K_в$ – коэффициент вязкого трения обшивки затвора в потоке;

$M_{дв}(\alpha, h)$ – движущий момент относительно оси вращения затвора;

$M_c(\alpha)$ – момент сопротивления конструкции регулятора;

$M_{тр}$ – момент от сил сухого трения, приведенный к оси вращения затвора;

α – приращение угла поворота (положения) затвора;

h – приращение стабилизируемого уровня воды в верхнем бьефе.

После линеаризации, введения относительных приращений переменных и перехода к безразмерным коэффициентам получим

$$T_1^2\frac{d^2\varphi}{dt^2} + T_2\frac{d\varphi}{dt} + K_c\varphi = \mu \mp \varepsilon, \quad (2)$$

где T_1 – постоянная времени регулятора (затвора);

T_2 – постоянная времени, характеризующая вязкое трение;

K_c – коэффициент неравномерности (статизм) регулятора;

ε – коэффициент нечувствительности регулятора;

φ – относительное приращение угла поворота затвора;

μ – относительное приращение стабилизируемого уровня воды.

Причем

$$T_1^2 = \frac{J\cdot\alpha_н}{\left(\frac{\partial M_{дв}}{\partial h}\right)_0 h_н}; \qquad T_2 = \frac{K_в\cdot\alpha_н}{\left(\frac{\partial M_{дв}}{\partial h}\right)_0 h_н};$$

$$K_c = \frac{\left[\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha}\right)_0 - \left(\frac{\partial M_{дв}}{\partial \alpha}\right)_0\right] \cdot \alpha_н}{\left(\frac{\partial M_{дв}}{\partial h}\right)_0 h_н}$$

где $\alpha_н, h_н$ - некоторые базовые значения угла поворота затвора и уровня воды;

$\left(\frac{\partial M_{дв}}{\partial h}\right)_0$; $\left(\frac{\partial M_{дв}}{\partial \alpha}\right)_0$; $\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha}\right)_0$ - частные производные, взятые при установившихся значениях

$$\alpha = \alpha_0 ; \quad h = h_0.$$

В уравновешенных затворах-автоматах предполагается, что

$$\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha}\right)_0 - \left(\frac{\partial M_{дв}}{\partial \alpha}\right)_0 = 0 \qquad (3)$$

Тогда, при пренебрежении нечувствительностью, уравнение регулятора может быть представлено в виде

$$T_1^2 \frac{d^2\varphi}{dt^2} + T_2 \frac{d\varphi}{dt} = \mu. \qquad (4)$$

которое является уравнением астатического регулятора.

Из-за наличия, например, гидродинамических сил воздействия потока, невозможности точного подбора веса элементов конструкции регулятора и других факторов практически трудно осуществить строгое равенство (3), поэтому за основное уравнение движения регулятора принимаем выражение (2), которое представляет собой уравнение статического регулятора.

Объект регулирования описывается следующим уравнением /5/

$$T_3 \frac{d\mu}{dt} + K_a \mu = -T_4 \frac{d\varphi}{dt} - \varphi, \qquad (5)$$

где T_3, T_4 - постоянные времени объекта;

K_a - коэффициент самовыравнивания.

Значения T_3, T_4, K_a, выраженные через гидравлические параметры русла, можно найти в /5/.

Объект, описанный уравнением в форме (5), в дальнейшем будем называть простейшим объектом.

Свободные колебания динамической системы, состоящей из простейшего объекта и затвора-автомата уровня воды верхнего бьефа с учетом сухого трения, описываются для случая $\frac{dy}{dt} \neq 0$ следующей системой дифференциальных уравнений:

$$T_1^2 \frac{d^2y}{dt^2} + T_2 \frac{dy}{dt} + K_c y = \mu_z \varepsilon;$$
$$T_3 \frac{d\mu}{dt} + K_0 \mu = -y - T_4 \frac{dy}{dt}. \qquad (6)$$

с начальными условиями

$$y_0 = -\lambda, \quad \left(\frac{dy}{dt}\right)_0 = 0, \quad \mu_0 = -K_c \lambda. \qquad (7)$$

Величина λ характеризует относительное изменение расхода воды, поступающего в верхний бьеф, т.е. отношение величины внезапного приращения расхода к величине максимального расхода, который может пройти через отверстие сооружения при стабилизируемом уровне воды.

Система (6) содержит два уравнения, из которых первое - уравнение второго порядка. Для исследования движения системы в фазовом пространстве представим эту систему (6) в виде трех уравнений первого порядка с безразмерными переменными. Для этого используем следующие замены:

$$y = \frac{\varepsilon \cdot T_3^2}{K_0^2 \cdot T_1^2} x; \quad \mu = \frac{\varepsilon \cdot T_3 T_4}{K_0^2 \cdot T_1^2} y, \quad z = \frac{T_3}{K_0} \tau \qquad (8)$$

Если теперь учесть свойства сил сухого трения в регуляторе, то получим систему уравнений:

$$\frac{dx}{d\tau} = z; \quad \frac{dy}{dt} = -\alpha x - y - z; \quad \frac{dz}{d\tau} = f(x, y, z). \qquad (9)$$

где

$$f(x,y,z)=\begin{cases} -Bx+Cy+Dz-1 \text{ при } z>0;\ z=0\ \cup\ -Bx+Cy\geq 1; \\ 0, \text{ при } z=0\ \cup\ -1\leq -Bx+Cy\leq 1 \\ -Bx+Cy+Dx+1 \text{ при } z<0;\ z=0\ \cup\ -Bx+Cy\leq -1 \end{cases}$$

при следующих начальных условиях:

$$x_0=\frac{K_0^2\,T_1^2}{\varepsilon\,T_3^2}\,y_0\ ;\ y_0=\frac{K_c\,T_3}{T_4}\,x_0\ ;\ z_0=0 \qquad (10)$$

В системе уравнений обозначено:

$$A=\frac{T_3}{K_0\,T_4}\ ;\ B=\frac{K_c\,T_3^2}{K_0^2\,T_1^2}\ ;\ C=\frac{T_3\,T_4}{K_0^2\,T_1^2}\ ;\ D=\frac{T_2\,T_3}{K_0\,T_1^2} \qquad (11)$$

Система трех уравнений (9) описывает движение исследуемой системы в трехмерном фазовом пространстве при начальных условиях (10).

2. Исследование уравнений движения

Исследование влияния сухого трения на устойчивость системы (объект–регулятор прямого действия) проведем в следующем порядке:

составим уравнение движения, соответствующей линейной системы (без сухого трения) и определим состояние ее равновесия;

на основе анализа корней характеристического уравнения выведем условия устойчивости соответствующей линейной системы, т.е. найдем условия, при которых областью притяжения состояния равновесия является все фазовое пространство;

определим состояние равновесия нелинейной системы (с учетом сухого трения);

определим область притяжения состояния равновесия нелинейной системы при значениях параметров, удовлетворяющих условию устойчивости соответствующей линейной.

Если в системе уравнений (6) положить $\varepsilon = 0$ и произвести замены

$$\varphi = x, \quad \mu = \frac{T_3}{T_4} y, \quad \tau = \frac{T_3}{K_0} \tau, \tag{12}$$

то получим линейную систему, соответствующую нелинейной (9)

$$\left.\begin{aligned} \frac{dx}{d\tau} &= z, \\ \frac{dy}{d\tau} &= -Ax - y - z, \\ \frac{dz}{d\tau} &= -Bx + Cy - Dz \end{aligned}\right\} \tag{13}$$

с начальными условиями

$$x_0 = \varphi_0, \quad y_0 = \frac{K_c \cdot T_3}{T_4} x_0, \quad z_0 = 0. \tag{14}$$

Как видно из (9) и (13), движение нелинейной и линейной динамических систем определяется заданием одних и тех же шести независимых безразмерных параметров A, B, C, D, x_0 и $\frac{K_c \cdot T_3}{T_4}$. В фазовом пространстве координат (x, y, z) параметры A, B, C и D определяют структуру разбиения пространства системы на траектории, а параметры x_0 и $\frac{K_c \cdot T_3}{T_4}$ – начальное положение изображающей точки.

Характеристическое уравнение линейной системы имеет вид:

$$\rho^3 + (D+1)\rho^2 + (B+C+D)\rho + (AC+B) = 0 \tag{15}$$

Корни такого уравнения (15) будут отрицательными или будут иметь отрицательные действительные части, если выполняются условия:

$$\begin{gathered} (D+1) > 0, \quad (D+1)(B+C+D) - (AC+B) > 0, \\ (AC+B) > 0, \quad (B+C+D) > 0, \end{gathered} \tag{16}$$

представляющие собой условие устойчивости системы по Гурвицу.

Состоянием равновесия линейной системы, как видно из (13), является начало координат фазового пространства.

При выполнении условий (16) областью притяжения состояния равновесия линейной системы является все фазовое пространство.

В нелинейной системе (9) состоянием равновесия является отрезок (рис.1)

$$-\alpha x - y = 0 \; ; \quad -1 \le -B + Cy \le 1 , \qquad (17)$$

появление которого объясняется наличием сил сухого трения.

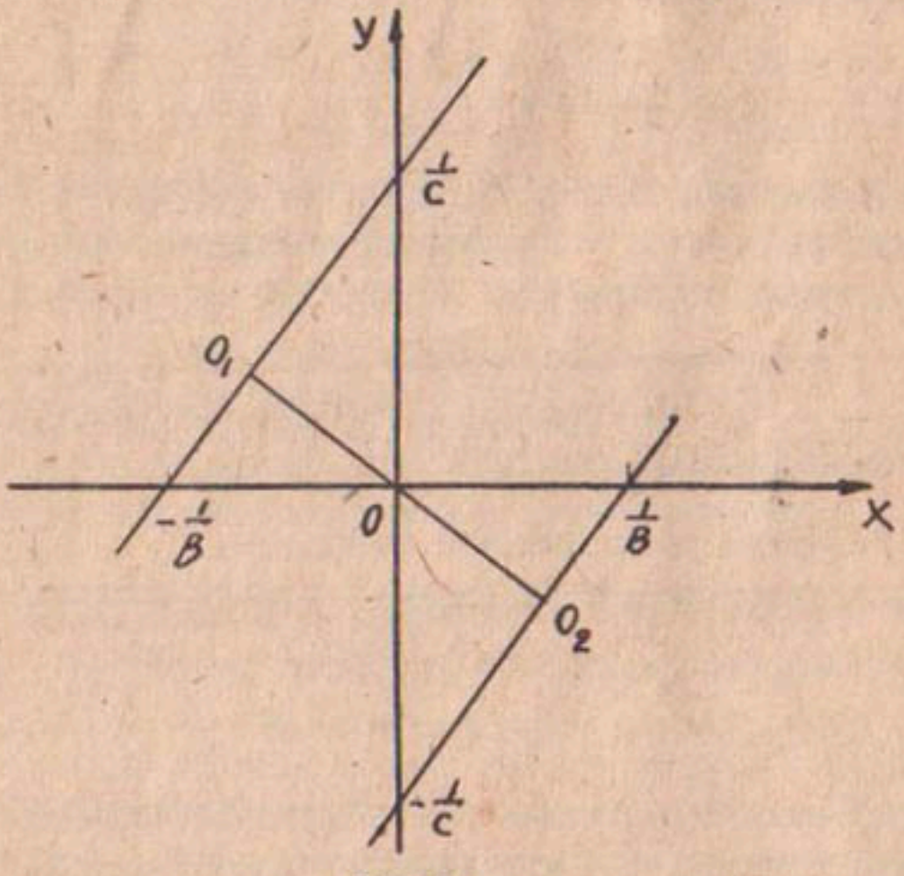


Рис.1.

Сухое трение не нарушает устойчивости, если в соответствии с теоремой, доказанной в работе А.А.Андронова и А.Г.Майера /1, § 3/, можно установить существование функции

Ляпунова $V(x, y, z)$, обладающей следующими свойствами:

1) поверхности $V(x, y, z) = c$ являются эллипсоидами;

2) при $z = 0$ прямая $y = \frac{B}{C}x$ является диаметром сопряженным хордам, параллельным оси y;

3) при движении изображающей точки по траектории соответствующей линейной системы (13) соблюдается условие

Пусть
$$V(x,y,z) = m_1x^2 + m_2y^2 + m_3z^2 + 2n_1xy + 2n_2xz + 2n_3yz \ldots\ldots \tag{18}$$

Тогда, учитывая (13), получим

$$\frac{1}{2}\frac{dV}{dt} = -(n_1A + n_2B)x^2 - (m_2 - n_3C)y^2 - (m_3D + n_3 - n_2)z^2 +$$
$$+(n_2C - m_2A - n_1 - n_3B)xy + (m_1 - n_1 - n_3A - m_3B - n_2D)xz +$$
$$+(n_1 - m_2 - n_3 + m_3C - n_3D)xyz. \tag{19}$$

Условие $\frac{dV}{dt} \leq 0$ будет выполняться если, например, коэффициенты в (19) будут удовлетворять равенствам

$$\left.\begin{aligned} n_1A + n_2B &= B^2 \\ m_2 - n_3C &= C^2 \\ n_2C - m_2A - n_1 - n_3B &= 2BC \\ n_1 - m_2 - n_3 + m_3C - n_3D &= 0 \\ m_1 - n_1 - n_3A - m_3B - n_2D &= 0 \end{aligned}\right\} \tag{20}$$

и неравенству

$$m_3D + n_3 - n_2 > 0 \tag{21}$$

Действительно, при выполнении условий (20), (21) уравнение (19) будет иметь вид:

$$\frac{1}{2}\frac{dV}{dt} = -(Bx - Cy)^2 - (m_3 D + n_3 - n_2) z^2 \qquad (22)$$

и, следовательно, $\frac{dV}{dt} < 0$

Эллипсоиды $V(x, y, z) = C$ при $z = 0$ превращаются в эллипсы, описываемые уравнением:

$$m_1 x^2 + m_2 y^2 + 2 n_1 xy = C \qquad (23)$$

После поворота осей координат и учитывая $y = \frac{B}{C} x$, получим:

$$n_1 C + m_2 B = 0 \qquad (24)$$

Равенство (24) является выражением, соответствующим второму свойству искомой функции, а подбор коэффициентов удовлетворяет этому равенству, что нетрудно проверить из системы уравнений (20).

Условием выполнения первого свойства искомой функции является положительность главных миноров матрицы:

$$\begin{vmatrix} m_1 & n_1 & n_2 \\ n_1 & m_2 & n_3 \\ n_2 & n_3 & m_3 \end{vmatrix}$$

составленной из коэффициентов (18), т.е.

$$m_1 > 0,$$

$$m_1 m_2 - n_1^2 > 0, \qquad (25)$$

$$m_1 m_2 m_3 + 2 n_1 n_2 n_3 - n_2^2 m_2 - n_3^2 m_1 - n_1^2 m_3 > 0$$

Решая совместно систему из пяти уравнений (20) относительно шести неизвестных, и придав свободному неизвестному члену n_3 значение

$$n_3 = b - c, \tag{26}$$

получим

$$\left.\begin{aligned} m_1 &= \frac{b}{c}\left[B(1+B+C+D)+\alpha C(1+D)+BC\right]-(B+\alpha C) \\ m_2 &= b\cdot c \\ m_3 &= b\left(\frac{B+C}{c}\right)+\left(\frac{b}{c}-1\right)(1+D) \\ n_1 &= -bB \qquad n_2 = b\alpha + B \end{aligned}\right\} \tag{27}$$

Подставив в неравенство (21) значения неизвестных коэффициентов (27), найдем для "b" следующее ограничение

$$\frac{b}{c} > \frac{D(1+D)+B+C}{D(1+B+C+D)+C(1-\alpha)}. \tag{28}$$

Если принять, что объект обладает положительным самовыравниванием и неравномерность регулятора положительна, то с учетом (16), получим:

$$b > 0 \tag{29}$$

Выразим левые части неравенства (25) через параметры системы подстановкой из (27) значений неизвестных коэффициентов функции (18)

Тогда при

$$\frac{b}{c} = \frac{D(1+D)+B+C}{D(1+B+C+D)+C(1-\alpha)}. \tag{30}$$

получим

$$m_1 = \frac{2BCD+BD^2+B^2D^2+2BCD^2+BD^3+\alpha CD^2}{D(1+B+C+D)+C(1-\alpha)} + \tag{31}$$

$$+ \frac{\alpha CD^3+B^2+B^3+3B^2C+B^2D+2\alpha BC+2BC^2+\alpha^2C^2}{D(1+B+C+D)+C(1-\alpha)}.$$

Для левой части второго неравенства (25) получим

$$m_1 m_2 - n_1^2 = b\{b[b+2bc+bd+\alpha ac+\alpha bcd]-c(b+\alpha bc)\} \qquad (32)$$

При подстановке значения "b" из (30) внутри фигурной скобки выражение (32) принимает вид:

$$m_1 m_2 - n_1^2 = \frac{b(bc^2d+\alpha bc^2d^2+bcd^2+2bc^2d^2+bcd^3+\alpha bc^2d^3)}{d(1+b+c+d)+c(1-\alpha)} + \qquad (33)$$

$$+\frac{b(b^2c+2b^2c^2+\alpha bc^2+2bc^3+bc^2d+\alpha bc^2+\alpha^2c^3)}{d(1+b+c+d)+c(1-\alpha)}.$$

Из (31) и (33) видно, что при учете (16) и (29) первые два неравенства (25) выполняются.

Левую часть третьего неравенства (25) представим в следующем виде:

$$m_1 m_2 m_3 + 2n_1 n_2 n_3 - n_2^2 m_2 - n_3^2 m_1 - n_1^2 m_3 = \qquad (34)$$

$$= \frac{b\{b[b(E-F)-L]-M\}+c^3(1+D)}{c},$$

где

$$E=(1+b+c+d)[(1+d)\alpha ac+b(1+b+c+d)+bc+b^2];$$

$$F=(1+d)(\alpha ac+b+bc)-(2\alpha abc+\alpha^2c^2); \qquad (35)$$

$$L=(1+b+c+d)[(1+d)bc+c(b+ac)]+(1+d)(ac^2+ac^2d+bc^2-b^2c-c)+2b^2c;$$

$$M=(1+d)bc^3+b^2c^2.$$

В силу (28) и (29) для выполнения третьего неравенства (25) достаточно, чтобы

$$E>F. \qquad (36)$$

Можно проверить из (35), что неравенства (36) выполняется.

Таким образом, установлено существование функции Ляпунова (18), обладающей всеми вышеперечисленными свойствами.

На основе результатов исследований можно сделать следующий вывод: сухое (кулоновское) трение на осях затворов-автоматов прямого действия со свободным истечением не ухудшает условия устойчивости системы стабилизации уровня воды верхнего бьефа с простейшим объектом в той области параметров, где соответствующая линейная система устойчива.

Данный вывод позволяет при проектировании затворов-автоматов произвести расчет устойчивости без учета сухого трения.

ЛИТЕРАТУРА

I. Андронов А.А. и Майер А.Г. Задача Вышнеградского в теории прямого регулирования. Автоматика и телемеханика, т.УШ, № 5, 1947.

2. Андронов А.А., Витт А.А. и Хайкин С.Э. Теория колебаний, изд.2, Физматгиз, 1959.

3. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования, Изд-во "Наука", 1966.

4. Вышнеградский И.А. О регуляторах прямого действия. Известия СПб. технологического института, т.I, 1877.

5. Маковский Э.Э. Граничные условия объектов регулирования оросительных систем. Сб. "Автоматизация объектов ирригационных систем", Фрунзе, изд. "Илим", 1964.

6. Таль А.А. Задача Вышнеградского в теории прямого регулирования. Автоматика и телемеханика, т.XIУ, № 5, 1953.

7. Хамадов И.Б., Гартунг А.А. Устройства гидравлической автоматики для регулирования расхода и горизонта воды. Вопросы гидротехники, вып.32, Изд-во "Фан",. 1968.

Р Е Ф Е Р А Т Ы

к выпуску 131 Трудов САНИИРИ им.В.Д.Журина
(Механизация, автоматизация гидромелиоративных систем)

УДК 626•862•7

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАКРЫТОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА ЩЕЛЕВЫМ ДРЕНОУКЛАДЧИКОМ ДЩ-301

А.Н.МИРСАГАТОВ, Н.П.КАРПОВ, Г.В.БАТУРИН
Труды САНИИРИ, вып.131, 1972

Описывается технология строительства горизонтального дренажа из пластмассовых труб комплектом машин, ведущей в котором является щелевой дреноукладчик ДЩ-301.

Излагаются результаты производственной проверки технологии в условиях Голодной степи.

Таблица 1. Рисунков 2.

УДК 626•862•7

ЩЕЛЕВОЙ ДРЕНОУКЛАДЧИК ДЩ-301 ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАКРЫТОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В НЕУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТАХ

А.Н.МИРСАГАТОВ, Н.П.КАРПОВ, Г.В.БАТУРИН
Труды САНИИРИ, вып.131, 1972

Описана новая конструкция дреноукладчика ДЩ-301, предназначенная для строительства закрытого горизонтального дренажа в неустойчивых грунтах.

Приведены результаты испытаний дреноукладчика в производственных условиях и даны рекомендации по дальнейшему улучшению его конструкции.

Рисунков 4.

УДК 626•862•002•2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ ТРАМБОВАНИЯ ГРУНТА В ТРАНШЕЯХ ЗАКРЫТЫХ ДРЕН ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ НА СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГРУНТОУПЛОТНЯЮЩИЕ МАШИНЫ

У.Ю.ПУЛАТОВ, Э.М.ОСТРОВСКИЙ, Ф.Ф.БЕГЛОВ

Труды САНИИРИ, вып.131, 1972

Приведены результаты исследований, проведенных с целью получения исходных данных для разработки технических требований на машины для уплотнения грунта обратной засыпки дренажных траншей.

Предлагается трамбующую машину оборудовать 1,5-тонным рабочим органом с длиной уплотняющего профиля z =0,7 м; рабочий орган сбрасывать с высоты 2-3 м; скорость экскаватора-дреноукладчика доводить до 80 пог.м/ч, что соответствует пяти ударам по одному следу, в результате эксплуатационная производительность должна составлять 60 пог.м/ч дренажа.

Таблица 1. Рисунков 5.

УДК 626•8•002•5

ТЕХНОЛОГИЯ И МЕХАНИЗАЦИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ВЫСОКОНАПОРНОЙ УКАТАННОЙ ПЛОТИНЫ

С.Д.ПАК

Труды САНИИРИ, вып.131, 1972

Предлагается технология возведения высоконапорной укатанной плотины Пачкамарского водохранилища, разработанная отделом механизации водохозяйственных работ САНИИРИ. Приводятся результаты исследований отдельных операций технологического процесса возведения плотины смешанного типа с переходными зонами.

Выявлены наиболее эффективные комплекты машин при возведении земляных укатанных сооружений в различных условиях производства работ. Предложен способ формирования откосов плотины и устройства тонкослойных переходных зон, позволяющий существенно повысить уровень механизации и снизить стоимость строительства земляных сооружений при высоком качестве работ.

Рисунков 4.

УДК 626•8•002•5

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМЫ ПЛОТНОСТИ И ОПТИМАЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ, УКЛАДЫВАЕМЫХ В ЯДРО (ЭКРАН) ВЫСОКОНАПОРНЫХ УКАТАННЫХ ПЛОТИН

С.Д.ПАК

Труды САНИИРИ, вып.131, 1972

Приводятся результаты экспериментальных исследований уплотняемости и сжимаемости уплотненных лессовых грунтов, отобранных в различных районах Средней Азии. Описывается новый способ установления требуемой плотности лессовых грунтов, укладываемых в водонепроницаемый элемент высоконапорных укатанных плотин. Дан метод расчета оптимальной влажности уплотняемых лессовых грунтов.

Таблиц 3. Рисунков 5.

УДК 621•22

КОЛЬМАТАЦИЯ КАНАЛОВ ИСКУССТВЕННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ МУТНОСТИ ПОТОКА СРЕДСТВАМИ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ

У.Ю.ПУЛАТОВ

Труды САНИИРИ, вып.131, 1972

Рассматривается способ искусственной кольматации каналов, проходящих в песчаных легкопроницаемых грунтах, средствами гидромеханизации – плавучими землесосными снарядами. Приводится технология и расчет объемов работ в привязке этого способа искусственной кольматации к Левобережному распределителю Каршинского магистрального канала.

Таблица I.

УДК 626•8•002•5

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ГРУНТОЗАБОРА ЗЕМЛЕСОСНЫМИ СНАРЯДАМИ

А.А.ЛЬВОВ, Ю.И.КИМ

Труды САНИИРИ, вып.131, 1972

Описаны схемы новых грунтозаборных устройств землесосных снарядов, разработанных в отделе организации и механизации водохозяйственных работ САНИИРИ для интенсификации процесса грунтозабора.

Отличительной особенностью указанных грунтозаборных устройств является наличие поворотного вогнутого со стороны забоя экрана, ограничивающего зев всасывающего наконечника. В зависимости от грунтовых и технологических условий экран комплектуется неподвижными и подвижными гидромониторными насадками, расположенными по периметру экрана, а также ротационным и фрезерным рыхлителями.

Рисунков 7.

УДК 626•862•002•2

О ГИДРАВЛИЧЕСКИ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ДИАМЕТРАХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И КОНУСНЫХ ТРУБ

А.Я.САЙГАНОВ

Труды САНИИРИ, вып.131, 1972

Технология изготовления бетонных и железобетонных малонапорных труб значительно упрощается при конусной форме труб. Но в трубопроводе из таких труб на участке стыковки их образуются пороги "e", которые создают, кроме потерь напора по длине, дополнительные гидравлические сопротивления.

Сравнение порогов, обусловленных технологическими особенностями изготовления труб методом механического вибропрессования с расчетными при коэффициенте, равном единице, показало, что дополнительные потери напора в трубопроводе из таких труб будут компенсированы за счет увеличения среднего диаметра их на величину порогов, т.е. $d_{ср} = d_0 + e$, где d_0 – диаметр цилиндрических труб.

Рисунок 1.

УДК 626•862•002•2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ОБЖАТИЯ РЕЗИНОВЫХ КОЛЕЦ В СОЕДИНЕНИЯХ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МАЛОНАПОРНЫХ ТРУБ

А.Я.САЙГАНОВ

Труды САНИИРИ, вып.131, 1972

Приведены результаты исследования предельного давления, выдерживаемого стыковым соединением бетонных и железобетонных малонапорных вибропрессованных труб. Установлена

степень обжатия резиновых колец в соединениях трубопровода, построенного из таких труб. Она составляет 33% от их начального диаметра, что позволяет сократить длину раструба и втулочного конца труб по сравнению с высоконапорными трубами, изготовленными гидропрессованием.

На основании полученных результатов предлагается новая конструкция стыковых соединений железобетонных вибропрессованных труб и даются основные размеры труб в зависимости от их диаметра.

Таблиц 2. Рисунков 3.

УДК 626·8·002·5

ДВУХРОТОРНЫЕ ЭКСКАВАТОРЫ ЭТР-122 НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ КАНАЛОВ В УзССР

Х.К.САЛИМОВ, Г.Д.СМЕЛОВ, П.С.ТРЕБУНСКИХ

Труды САНИИРИ, вып.131, 1972

Приведены результаты производственных испытаний экскаваторов ЭТР-122 в областях УзССР на строительстве каналов.

Отмечены недостатки, наблюдавшиеся в процессе работы.

Результаты испытаний показали высокое качество выполненных экскаваторами работ.

Таблица I. Рисунок I.

УДК 626·862·002

КОНУСНЫЙ РОТОРНЫЙ РАБОЧИЙ ОРГАН КАНАЛООЧИСТИТЕЛЯ

П.С.ТРЕБУНСКИХ

Труды САНИИРИ, вып.131, 1972

В статье анализируется рабочий процесс копания и удаления грунта из канала роторным органом каналоочистителя.

Предложена новая конструкция конусного рабочего органа с неподвижной пластиной, обеспечивающая снижение энергоемкости копания и транспортирования грунта по неподвижному кожуху ротора. Указаны преимущества конусного роторного органа. Они подтверждены испытаниями опытного образца.

Рисунок I.

УДК 626

СОВМЕЩЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ СОПЛА И ВРАЩАЮЩЕГОСЯ СЕРДЕЧНИКА ПРИ ТОРКРЕТИРОВАНИИ

А.АБДУЖАБАРОВ

Труды САНИИРИ, вып.131, 1972

В статье приводятся обоснование характеристики процесса торкретирования, его преимущества и недостатки, также обоснование видов движения сопла и вращающихся сердечников.

В результате анализа кинематики пяти видов движений, наиболее простыми являются вращения сердечника и перемещения сопла вдоль торкретируемой поверхности. Совмещенные движения сопла цемент-пушки и сердечника при этом находятся в непрерывном винтообразном перемещении, что соответствует требованию по технологии изготовления армоцементных труб.

Рисунок I.

УДК 626•8:621•002

ИСХОДНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В ЦЕЛЯХ РАССОЛЕНИЯ

Л.М.ЯРОШЕЦКИЙ

Трудн САНИИРИ, вып.131. 1972

Рассматривается вопрос о способах управления системами вертикального дренажа в целях рассоления и этапность их внедрения. Описываются существующие способы управления и структурная схема их объектов.

Формируются цели управления и элементы, участвующие в сборе информации.

Рассматриваются граничные условия, определяющие его пуск и остановку.

Делается вывод, что в варианте централизации управления алгорити управления системой вертикального дренажа может быть построен на принципе статистических оценок состояния и последующего развития происходящих в них процессов и что систему управления можно отнести к самонастраивающейся.

Указывается необходимость проведения исследований для составления алгоритмов управления.

Рисунков 2.

УДК 626•01

О ТЕРМИНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ МАШИННОГО ВОДОПОДЪЕМА

М.А.КУРМАНБАЕВ, П.Н.ПАК

Труды САНИИРИ, вып.131, 1972

В статье рассматриваются технические термины для машинного орошения. Предлагается ряд новых терминов, по мнению авторов, наиболее полно отражающих специфику машинного водоподъема.

Таблица I.

УДК 626.862•7

ЭНЕРГОБАЛАНС НАСОСА ЭЦВ12-255-30М

В.Н.МАШКОВ, А.Я.БЕЛОУСОВ

Труды САНИИРИ, вып.131,1972

В статье приводится энергобаланс электронасоса ЭЦВ12-255-30М, экспериментально полученный на специальном стенде с помощью вертикальных мотор-весов. Дается методика экспериментального определения потерь энергии в насосе: в подшипниках, в подводящих каналах (на входе), дисковых потерь, объемных через уплотнительные кольца и потерь при преобразовании энергии в рабочем колесе и направляющем аппарате.

Таблиц 4. Рисунков I.

УДК 626•8•002•5

К ТЕОРИИ ЧЕТЫРЕХКАМЕРНОГО РАДИАЛЬНОГО ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА

П.Н.ПАК

Труды САНИИРИ, вып.131, 1972

В статье изложены вопросы теории гидростатических подшипников.

Даны уравнения для аналитического определения:

I) грузоподъемности подшипника

$$F=(P_1-P_3)(\ell_0+\ell_1)\frac{d_n}{2}\left[\sin\frac{\alpha}{2}+\sin\left(\frac{\alpha}{2}+\beta\right)\right],$$

где P_1 и P_3 – давления в соответствующих камерах подшипника;

ℓ_0 – длина камеры;

ℓ_1 – длина торцовой перегородки;

d_n – диаметр подшипника;

α и β – углы, составляющие камеру и перегородку подшипника;

2) расхода смазки

$$Q_0=m f_0\sqrt{\frac{2g}{\delta}}\left(\sqrt{P_н-P_1}+\sqrt{P_н-P_2}+\sqrt{P_н-P_3}+\sqrt{P_н-P_4}\right),$$

где m – коэффициент расхода;

f_0 – сечение одного отверстия диафрагмы;

$P_н$ – давление в общей камере.

626.8

ВЛИЯНИЕ СУХОГО (КУЛОНОВСКОГО) ТРЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАБОТЫ ЗАТВОРОВ-АВТОМАТОВ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

Р.СИМ, И.Б.ХАМАДОВ

Труды САНИИРИ, вып.131, 1972

Приведено исследование устойчивости системы стабилизации уровня воды верхнего бьефа в открытой оросительной сети с учетом сил сухого трения на осях вращения затворов-автоматов прямого действия.

Результаты могут быть использованы при проектировании затворов-автоматов прямого действия для расчета устойчивости.

Рисунков – I.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

стр.

А.Н.МИРСАГАТОВ, Н.П.КАРПОВ, Г.В.БАТУРИН. Технология строительства закрытого горизонтального дренажа щелевым дреноукладчиком ДЩ-301..... 3

А.Н.МИРСАГАТОВ, Н.П.КАРПОВ, Г.В.БАТУРИН. Щелевой дреноукладчик ДЩ-301 для строительства закрытого горизонтального дренажа в неустойчивых грунтах..... 11

У.Ю.ПУЛАТОВ, Э.М.ОСТРОВСКИЙ, Ф.Ф.БЕГЛОВ. Определение оптимальных параметров и режимов трамбования грунта в траншеях закрытых дрен для разработки технических требований на специальные грунтоуплотняющие машины..... 20

С.Д.ПАК. Технология и механизация возведения высоконапорной укатанной плотины..... 31

С.Д.ПАК. Рекомендуемый способ определения нормы плотности и оптимальной влажности лессовых грунтов, укладываемых в ядро (экран) высоконапорных укатанных плотин..... 43

У.Ю.ПУЛАТОВ. Кольматация каналов искусственным регулированием мутности потока средствами гидромеханизации..... 55

А.А.ЛЬВОВ, Ю.И.КИМ. Интенсификация процесса грунтозабора землесосными снарядами..... 65

А.Я.САЙГАНОВ. О гидравлически эквивалентных диаметрах цилиндрических и конусных труб..... 76

А.Я.САЙГАНОВ. Определение степени обжатия резиновых колец в соединениях бетонных и железобетонных малонапорных труб..... 80

Х.К.САЛИМОВ, Г.Д.СМЕЛОВ, П.С.ТРЕБУНСКИХ. Двухроторные экскаваторы ЭТР-122 на строительстве каналов в УзССР..... 88

П.С.ТРЕБУНСКИХ. Конусный роторный рабочий орган каналоочистителя..... 93

А.АБДУХАБАРОВ. Совмещенные движения сопла и вращающегося сердечника при торкретировании..... 99
Л.М.ЯРОШЕЦКИЙ. Исходная постановка задачи определения алгоритмов управления системой вертикального дренажа в целях рассоления..... 106
М.А.КУРМАНБАЕВ, П.Н.ПАК. О терминологии в области машинного водоподъема..... 120
В.Н.МАШКОВ, А.Я.БЕЛОУСОВ. Энергобаланс насоса ЭЦВ12-255-300М..... 129
П.Н.ПАК. К теории четырехкамерного радиального гидростатического подшипника..... 135
Р.СИМ, И.Б.ХАМАДОВ. Влияние сухого (кулоновского) трения на устойчивость работы затворов-автоматов прямого действия..... 145

Редакторы Т.М.Шапошникова, Б.Ф.Калягина
Корректоры Р.П.Яхъяева, Г.Д.Яценко

Р-08802 Подписано к печати 7/I-72г.
Формат бумаги 50х60 I/8 Усл.п.л. I0,4
Заказ II95 Тираж 300 Цена Iр.

Картфабрика ин-та "Узгипрозем"
Ташкент, Мукими, I76