МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

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

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Выпуск 157

(Новая техника в эксплуатации гидромелиоративных систем)

Ташкент—1978

УДК 626. 81

В настоящем сборнике освещаются результаты исследований САНИИРИ в области эксплуатации гидромелиоративных систем. Обосновывается фактор повышения эффективности эксплуатации гидромелиоративных систем – их техническое обслуживание. Дается корректировка планов водораспределения на оросительных системах; оценивается эффективность автоматизации водораспределения и механизации водохозяйственных работ; предлагаются методы борьбы с фильтрацией из каналов.

В книге даются рекомендации по улучшению методов расчетов и выбору конструкций гидротехнических сооружений, условиям и режимам их эксплуатации.

Редакционная коллегия

Кадыров А.А. (отв.ред. САНИИРИ), Валентини Г.Г., Дерлятка Т.И., Жулаев А.Ж. (зам.ред. КазНИИВХ), Кеберле С.И., Лактаев Н.Т., Мухамедов А.М., Мухтаров М.П., Пулатов У.Ю., Пулатов А.Г., Сапаров А.С.(зам.ред. ТуркменНИИГиМ), Старковский А.С., Усманов А.У., Якубов Х.И. (зам.ред.).

© Среднеазиатский научно-исследовательский институт ирригации им. В.Д. Журина (САНИИРИ) 1978

А.В. БОЧАРИН
канд.техн.наук, зав.сектором
В.С. ЛИТВИНОВ
инженер
(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ - ВАЖНЫЙ РЕЗЕРВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Современные мелиоративные системы представляют собой довольно сложные комплексы инженерных гидротехнических сооружений, производственных и жилых зданий, дорог, средств связи, автоматики, энергетики и т.д. Поддержание их на должном техническом уровне - одна из существенных сторон деятельности водохозяйственных организаций и хозяйств водопользователей. В настоящее время оно осуществляется по принципу планирования текущих и капитальных ремонтов по объемам и затратам. Изучение опыта их осуществления на ряде оросительных систем Узбекской ССР показывает, что принцип организации текущих и капитальных ремонтов в современных условиях имеет ряд серьезных недостатков, к которым следует отнести следующие:

I. Отсутствие критериев объективной оценки действительной потребности в финансовых и материальных ресурсах для осуществления текущих и капитальных ремонтов, вследствие чего планирование последних осуществляется "от достигнутого уровня", исключая аварийные или другие конъюнктурные ситуации;

2. Отсутствие специализированных ремонтных организаций и положений, регламентирующих характер их взаимоотношений с управлениями оросительных систем. В последние годы такие организации были созданы практически во всех ирригационных регионах, и перед ними ставилась первоочередная задача - обеспечить своевременный и качественный ремонт сооружений мелиоративных систем. Однако в связи с ростом объемов капитального водохозяйственного строительства, ремонтно-

строительные тресты начали заниматься преимущественно последним. Объемы выполняемых ими ремонтных работ сократились (менее 20%) и по сути свелись к очистке оросительной и коллекторно-дренажной сети на государственных оросительных системах;

3. Отсутствие заинтересованности специализированных ремонтно-строительных организаций в выполнении ремонтных работ на оросительных системах (разбросанность объектов, небольшие объемы работ, низкие расценки) вынуждают осуществлять их силами эксплуатационного персонала. Отсюда - высокая стоимость и низкое качество работ, несвоевременность их выполнения, стремление освоить выделяемые средства, исходя из конъюнктурной обстановки, а не производственной необходимости, низкое качество основной производственной деятельности.

В еще худшем положении находится поддержание внутрихозяйственных систем. Хозяйства, не располагая в достаточной мере строительной техникой и не имея квалифицированных специалистов, не в состоянии поддерживать мелиоративную сеть на достаточном техническом уровне. Как следствие, в части хозяйств наблюдается нерациональное использование оросительной воды, появление вторичного засоления и заболачивания земель, медленный рост урожайности сельскохозяйственных культур.

Исходя из сказанного выше, необходимо осуществлять поддержание мелиоративных систем методом обязательного технического обслуживания, предусматривающим не только проведение планово-предупредительных ремонтов, но и периодическую проверку технического состояния отдельных элементов, узлов, сооружений мелиоративных систем привлеченными специализированными ремонтно-строительными организациями.

Система технического обслуживания с ее местными особенностями нашла применение на отдельных мелиоративных системах РСФСР, Украины, Белоруссии и других республик. Однако,

она не внедряется в республиках Средней Азии, за исключением поддержания отдельных специфических элементов мелиоративных систем (насосные станции, вертикальный дренаж, средства связи и автоматики и т.п.).

Подобное положение объясняется целым рядом объективных и субъективных причин, основными из которых являются следующие. Во-первых, не сформировалась единая точка зрения на организационную сторону этого вопроса. Одни предполагают организовать техническое обслуживание в системе республиканских Минводхозов, другие - по линии межколхозных объединений. С другой стороны, есть предложения возложить выполнение работ по техобслуживанию на существующие ремонтно-строительные организации, а еще - создать для этой цели специальные.

Как сторонники, так и противники перечисленных предложений приводят убедительные, с их точки зрения, доказательства за и против. Кроме того, нет определенной ясности по системе экономических взаимоотношений между "заказчиками" и "подрядчиками", в организации проектно-сметного дела, контроля исполнения работ и др.

Не касаясь решения этих вопросов, которые являются предметом специальных исследований, в данной статье делается попытка дать технико-экономическое обоснование внедрения обязательного техобслуживания вообще на межхозяйственных и внутрихозяйственных оросительных системах. Отсутствие такого обоснования, с нашей точки зрения - главная причина, тормозящая внедрение техобслуживания, и решение ее определит целый ряд других аспектов практической организации техобслуживания.

Технико-экономическое обоснование должно дать ответ на два основных вопроса организации техобслуживания:

- какие объемы работ и затраты на их осуществление в рамках существующих организационных структур потребует нормальная организация технического обслуживания;

- где, в чем и в каких объемах определится экономическая эффективность технического обслуживания по сравнению с традиционными существующими формами поддержания мелиора-

тивных систем.

При такой формулировке задач целесообразно рассмотреть отдельно эффективность технического обслуживания межхозяйственной (государственной) и внутрихозяйственной мелиоративной сети, находящейся на балансе водопользователей. Для межхозяйственных гидромелиоративных систем внедрение технического обслуживания не приведет к росту затрат, по сравнению с существующим уровнем на их поддержание. Обосновывается это тем, что целесообразность существующей системы оценки потребных объемов работ и затрат на их выполнение ни у кого не вызывает сомнения. Изменится лишь форма их исполнения - по линии специализированных ремонтно-строительных подразделений, что должно привести к росту производительности труда и повышению качества работ.

Количественную оценку этому можно дать по фактическим и расчетным данным по Андижанской области. Так, ежегодные затраты на осуществление текущих и капитальных ремонтов гидросооружений и гидропостов составляют здесь 1,0 млн. руб. За счет этих средств содержится линейный персонал численностью 434 единицы с годовым фондом заработной платы в 444 тыс.руб. и годовой выработкой на одного работника 2300 руб. Там же, в Андижанской области, находится крупный водохозяйственный ремонтно-строительный трест "Андижанирстрой" с ежегодным объемом работ 20 млн.руб. (80% и выше по капитальному строительству) и выработкой на одного работника 10140 руб. Заметим, что такая выработка характерна для других областных водохозяйственных ремонтно-строительных трестов в системе Минводхоза УзССР.

Если принять, что стоимость технического обслуживания останется на уровне стоимости текущих и капитальных ремонтов и будет выполняться в пределах выработки треста Андижанирстрой, то потребная численность работников составит 100 человек с годовым фондом заработной платы 233 тыс.руб. (исходя из среднегодового заработка работников треста). Отсюда сокращение численности обслуживающего персонала только по Андижанскому ОблУОС составит 334 человека, а экономия фонда заработной платы 211 тыс.руб, или

на 1000 га орошаемых земель 1,26 единиц и 785 руб.

Следует отметить, что данные расчеты несколько приближенны, так как при капитальном строительстве затраты на стройматериалы более высокие по сравнению с ремонтными работами. Если иметь в виду, что аналогичная картина наблюдается и по другим элементам мелиоративных систем (дороги, жилые и производственные здания, руслорегулировочные работы и др.), то показатели эффективности технического обслуживания мелиоративных систем возрастут еще более.

С несколько иных позиций должна оцениваться эффективность технического обслуживания внутрихозяйственной гидромелиоративной системы. Оно должно способствовать выполнению основной задачи - повышение продуктивности орошаемого земледелия. Важнейшим его элементом, составляющим подавляющую часть затрат, является своевременная и качественная очистка мелиоративной сети, обеспечивающая условия для ее нормального функционирования. Современное положение по этому вопросу иллюстрируют данные по Андижанской и Сырдарьинской областям, приведенные в таблице.

Из анализа данных таблицы видно, что наблюдается большая разница в протяженности очистки межхозяйственной и внутрихозяйственной сети. Так, по межхозяйственной оросительной сети в Андижанской области она составила 85,6% от общей протяженности, а по внутрихозяйственной - 52,9%, в Сырдарьинской области - 58,5 и 30,5% соответственно. По коллекторно-дренажной сети (КДС) эти соотношения, соответственно, составили: Андижанская - 40,2 и 33%, Сырдарьинская - 32,1 и 14,6%. Еще более резкая разница наблюдается в протяженности очистки сети по колхозному и совхозному секторам. Например, в Сырдарьинской области для оросительной сети в колхозах она составила 5,8%, в совхозах - 54,6%; для КДС - 8,7% и 21,1% соответственно.

Подобное положение с очисткой сети приводит к продолжающемуся ухудшению ее качественного состояния. Так, по Сырдарьинской области в неудовлетворительном состоянии в 1973 г. находилось 72% от всей протяженности КДС, а в 1974 г. уже 78%. Для сравнения укажем, что относительная

Таблица

Техническое состояние оросительных систем и выполнение мероприятий по их поддержанию (на уровне 1974 г.)

Показатель	Единица измерения	Андиканская область	Сырдарьинская область
I Протяженность межхозяйственной оросительной сети	км	2360	323
2 Относительная протяженность ее очистки x)	%	85,6	58,5
Стоимость очистки	тыс.руб.	940	80,9
2 Протяженность внутрихозяйственной оросительной сети	км	I4I28	3069
Относительная протяженность ее очистки x)	%	52,9	30,5
Стоимость ее очистки	тыс.руб.	I377	654
3 Протяженность межхозяйственной коллекторно-дренажной сети	км	I964	I039
Относительная протяженность ее очистки x)	%	40,2	32,I
Стоимость ее очистки	тыс.руб.	II76	845
4 Протяженность внутрихозяйственной коллекторно-дренажной сети	км	3932	2987
Относительная протяженность очистки x)	%	33,0	I4,6
Стоимость очистки	тыс.руб.	I636	458
5 Общие затраты на поддержание систем	тыс.руб.	4409	5I5I
В том числе текущий ремонт	%	68	30,6

x) Среднее за период I97I-I974 гг.

протяженность межхозяйственной КДС в неудовлетворительном состоянии за эти же годы составляла 33%.

Естественно, сложившееся положение в состоянии КДС отрицательно влияет на рост урожайности сельскохозяйственных культур. Это подтверждается данными о динамике качествен-

ного состояния КДС и урожайности хлопчатника для хозяйств Сырдарьинской области. Здесь можно выделить две группы хозяйств. I (18 хозяйств) за период 1973-1974 гг. проведена большая работа по качественному улучшению КДС. В результате протяженность КДС в неудовлетворительном состоянии сократилась с 62,3% от общей протяженности в 1973 г. до 28,8% в среднем по группе. Урожайность хлопчатника возросла, соответственно, с 26,0 до 29,5 ц/га, т.е. на 3,5 ц/га.

Для другой группы хозяйств с общей площадью посева хлопчатника 14840 га наблюдалась обратная тенденция: протяженность КДС в неудовлетворительном состоянии увеличилась в среднем на 36,8% от общей протяженности в 1973 г. до 65,0% в 1975 г., и рост урожайности составил 2,1 ц/га, т.е. на 1,4 ц/га меньше, чем в первой группе хозяйств. Если иметь в виду, что рассматриваемые хозяйства находятся в одинаковых условиях (по плодородию почв, агротехнике возделывания, наличию трудовых ресурсов, уровню механизации и т.д.), то ухудшение мелиоративного состояния части земель, вследствие несвоевременной очистки КДС, вызвало недобор валовой продукции на 1149 тыс.руб.

Из изложенного следует, что нормальное техническое обслуживание внутрихозяйственных гидромелиоративных систем потребует более высоких затрат по сравнению с существующими. Для их определения в каждом конкретном административном районе (области) предлагаются следующие способы расчета:

- удельные ежегодные объемы и стоимость очистки оросительной сети и КДС определяются как среднемноголетние за предыдущую пятилетку;

- число гидросооружений, подлежащих ежегодному ремонту, и его стоимость - по аналогии с среднемноголетними данными совхозного сектора, где ведется подобный учет;

- относительная протяженность очистки оросительной сети и КДС - по аналогии с среднемноголетними данными межхозяйственной сети района.

Последнее при необходимости может быть уточнено по результатам визуальных обследований. Перечисленные материалы имеются в ежегодных отчетах РайУОС (ОблУОС), и использовать их для составления удельных объемов и затрат технически не трудно.

Подсчет по данной методике показывает, что техническое обслуживание для упомянутой выше второй группы хозяйств ежегодно потребует затрат в среднем 498 тыс.руб. (33,6 руб на га). Отсюда экономическая эффективность, подсчитанная по стандартной методике приведенных затрат, составит 520 тыс.руб. (35 руб. на I га).

В заключение можно отметить, что существующие условия поддержания гидромелиоративных систем и их результаты, выявленные в Андижанской и Сырдарьинской областях, отмечаются и в других районах Средней Азии. С этих позиций повсеместное внедрение технического обслуживания обеспечит:

- на государственных оросительных системах - заметное повышение производительности труда, сокращение численности работников и фонда заработной платы;
- на внутрихозяйственных оросительных системах - рост затрат на поддержание сети, который перекрывается ростом валового дохода хозяйств, за счет устранения неизбежных ущербов от ухудшения мелиоративного состояния орошаемых земель.

А.В. БОЧАРИН
канд.техн.наук, зав.сектором
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

К ВОПРОСУ ОПЕРАТИВНОЙ КОРРЕКТИРОВКИ ПЛАНОВ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ ДЕФИЦИТЕ ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Общей тенденцией развития орошаемого земледелия является все более возрастающий разрыв между используемой площадью орошаемых земель и наличием водных ресурсов. В

этих условиях главная задача службы эксплуатации оросительных систем - рациональное распределение воды между потребителями при учитывании ее дефицита.

Особую трудность вызывает оперативное водораспределение, когда за сравнительно короткий срок необходимо принять решение по распределению весьма ограниченного количества воды между потребителями различных категорий. Из-за отсутствия объективных критериев водораспределения, а также других научно обоснованных рекомендаций на практике широко применяется принцип снижения водопотребления, независимо от состава сельхозкультур и природно-хозяйственных условий, пропорционально уровню водообеспеченности источника орошения.

Принцип пропорционального ограничения сравнительно простой в реализации, имеет весьма существенный недостаток: он не учитывает последствий одинакового ограничения водопотребления на снижение продуктивности сельскохозяйственного производства водопользователей, находящихся в различных условиях хозяйствования. В ряде случаев одинаковый уровень водообеспеченности может привести к резко различному снижению продуктивности сельхозпроизводства (табл. I).

Таблица I

Динамика водообеспеченности и урожайности хлопчатника для двух районов Кашкадарьинской области

Район	Показатель	1971	1972	1973	1974	1975
Яккабадский	водообеспеченность, %	34,5	50,8	47,0	51,0	56,0
	урожайность, ц/га	20,6	31,3	27,8	27,7	28,0
Гузарский	водообеспеченность, %	68,0	97,0	131,0	72,0	83,0
	урожайность, ц/га	18,4	29,0	27,4	25,8	21,3

Как следует из табл. I, в Яккабадском районе при водообеспеченности 50% и выше можно сохранить урожайность хлопчатника около 28 ц/га. В то же время в Гузарском районе, чтобы получить такую же урожайность необходима водообеспе-

ченность 100% и выше; уменьшение ее до 70–80% приводит к заметному снижению урожайности.

Из изложенного следует, что при дефиците оросительной воды принципы распределения ее должны учитывать возможные ущербы продуктивности сельхозпроизводства хозяйств, находящихся в различных условиях. Обоснованные научно методы подобного учета находятся пока в стадии разработок. Современно очевидно, что необходимо уже сегодня выработать приближенные критерии водораспределения, которые бы ограничивали резкие разрывы продуктивности сельхозпроизводства у отдельных водопользователей за счет уравнивания их водообеспеченности.

Для указанной цели предлагается способ, основанный на анализе статистических данных по отдельным показателям водопотребления и сельхозпроизводства. Сущность его заключается в том, что за ряд лет по отдельным оросительным системам (хозяйствам) систематизируются данные по основным факторам, определяющим урожайность сельхозкультур:

- сумма эффективных температур;
- величина атмосферных осадков;
- площади запасных поливов;
- площади промывки засоленных земель;
- водоподача плановая и фактическая за вегетацию по декадам;
- поливные нормы – плановые и фактические – за вегетацию по декадам;
- кратность поливов за вегетацию;
- затраты удобрений;
- урожайность хлопчатника и других культур.

На основании данных по фактической и плановой водоподаче строятся графики вида

$$\sum_{i=1}^{T} W_ф \Big/ \sum_{i=1}^{T} W_п = f(t),$$

где $W_ф$ и $W_п$ – фактические и плановые декадные стоки за соответствующий период времени t для каждого анализируемого года. На их основе устанавливается год с мини-

мумом водообеспеченности (за отдельные периоды и в целом за вегетацию) и отвечающая ему урожайность сельхозкультур.

Затем сравниваются условия этого года с годами повышенной водообеспеченности по климатическим показателям, площадям промывных и запасных поливов, затратам удобрений. Если последние идентичны, то сравнимая водообеспеченность может быть принята как гарантированная для получения данной урожайности сельхозкультур. Если они резко отличны, например по климатическим условиям или по площадям промывки и так прочее, то следует аналогичным образом оценивать последующий минимум водообеспеченности и т.д.

Помимо установления гарантированных лимитов водообеспеченности, на основе анализа перечисленных данных можно установить ряд других приемов оперативной корректировки планов водораспределения при дефиците оросительной воды. Известно, что сложившиеся принципы планирования водопользования и практика его осуществления почти повсеместно направлены на обеспечение дополнительных резервов оросительной воды. В этих условиях анализ практики водопользования помогает установить, где скрыты эти резервы и какова их величина. Обобщение подобных материалов показывает, что при дефиците оросительной воды оперативная корректировка планов водораспределения должна идти в направлении сокращения до определенных размеров:

- водопотребления прочих культур;
- площади вызывных поливов;
- водопотребления в конце вегетационного периода.

Сущность способа поясним на примере анализа данных по эффективности использования воды на 1971-1975 гг. по Шахрисабзскому району Кашкадарьинской области (табл. 2).

Как видно из табл. 2, в 1974 г. при возрастании площади прочих культур на 4,3 т/га их валовое производство возросло на 48,8% по сравнению с 1972 г., тогда как водопотребление их сократилось на 20,8%. Такая же картина наблюдается и при сравнении аналогичных результатов 1973 и 1974 гг. Отсюда следует, что водопотребление прочих культур в размере 40% планового гарантирует их валовое производство в достаточном объеме.

Таблица 2

Показатель	Единица измерения	Годы				
		1971	1972	1973	1974	1975
I Водоподача за вегетацию относительно плана	%	49,0	59,5	69,2	53,0	61,0
2 Водоподача в конце вегетации относительно плана	%	38,5	49,8	86,5	58,0	88,9
3 Водопотребление прочих культур относительно плана	%	27,3	51,3	49,2	40,6	47,2
4 Площадь вызывных поливов относительно общей	%	II,3	I.6	7,0	I5,0	55,0
5 Затраты удобрений	кг/га	42I	443	427	475	575
6 Урожайность хлопка	ц/га	24,4	34,0	35,I	35,I	33,4
7 Валовое производство прочих культур	тыс.т.	I4,9	I8,2	20,6	27,I	30,0
8 Площадь под прочими культурами	тыс.га	6,I6	7,77	9,I	8,I	9,96

Оценивая влияние вызывных поливов можно отметить, что тенденция увеличения их площадей не приводит к росту урожайности хлопчатника как при снижении, так и повышении общей водообеспеченности. Более того, в 1975 г. площадь вызывных поливов составляла 55% от общей (в 1972, 1973, 1974 гг. - I,6; 7,0; I5% соответственно), а урожайность хлопчатника 33,4 ц/га (1972, 1973, 1974 гг. - 34,0; 35,I; 35,I ц/га) соответственно). Очевидно, что ограничение площади вызывных поливов до I5% вполне гарантирует высокие урожаи хлопчатника.

Анализ данных табл. 2 показывает, что при повышении общей водообеспеченности в 1973 и 1975 гг. резко возросла водоподача в конце вегетации (86,5 и 88,9% плановых соответственно) в сравнении с другими годами. Так, в 1972 и 1974 гг. она составила 49,8 и 58% от плановых и в то же время обеспечила высокую урожайность хлопчатника. Отсюда следует, что водоподача в конце вегетации в размере 50-60% от плановой практически не приводит к снижению урожайности хлопчатника.

Предложенные способы позволили установить гарантируемые лимиты водообеспеченности: общей, в конце вегетации, прочих культур, а также вызывных поливов по Кашкадарьинской области, на основе анализа данных 1971-1975 гг., приведенных в табл. 3.

Таблица 3

Район	Водообеспеченность, %			
	общая	в конце вегетации	прочих культур	по площади вызывных поливов
I Китабский	85,0	58,0	41,0	5,0
2 Шахрисабзский	80,0	58,0	41,0	I5,0
3 Яккабадский	56,0	46,0	33,0	-
4 Чиракчинский	I00,0	71,0	63,0	I,5
5 Камашинский	82,0	75,0	49,0	-
6 Гузарский	I00,0	96,0	70,0	I3,0
7 Каршинский	I00,0	77,0	46,0	-
8 Касанский	I00,0	8I,0	48,0	-
9 Ульяновский	80,0	90,0	62,0	-

Полученные данные позволяют более гибко и дифференцированно подходить к водораспределению в оперативном порядке при дефиците оросительной воды. На практике это должно выглядеть следующим образом. Если прогнозные запасы воды на текущую декаду (пятидневку) ниже плановых потребностей, то производят урезку водопотребления прочих культур в соответствии с установленными лимитами и определяют фактические потребности хозяйств. Если последние получатся ниже прогнозных запасов воды, то разница распределяется в соответствии с общепринятыми принципами водораспределения. В противном случае, когда водораспределение осуществляется в конце вегетации, производят дополнительную урезку водораспределения хлопчатника в соответствии с лимитом этого периода, а положительная или отрицательная разница в запасах воды распределяется аналогично изложенному выше.

В другие отрезки времени вегетационного периода урезку водопотребления осуществляют на основе установленных лимитов общего водопотребления и в дальнейшем принимают решение аналогично предыдущему. Принцип использования лимита площади вызывных поливов достаточно понятен и не требует пояснений. Изложенные подходы к установлению принципов водораспределения при дефиците оросительной воды несколько приближенны. Однако, если охватить анализом довольно длительный период и дополнить его экспертными оценками, эффективность его, с точки зрения сокращения ущерба сельхозпроизводству, будет намного выше, чем традиционный метод пропорционального сокращения водопотребления.

В.С. ХАЧИКЯНЦ
инженер
(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ В КАНАЛАХ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ

Несмотря на значительный объем, приходящийся в ирригационном строительстве на различные облицовки каналов, протяженность последних с открытой поверхностью еще очень велика. Ввиду необходимости значительных капитальных вложений, потребности в дорогостоящих материалах для облицовок, особый интерес представляют пути получения высокого эффекта в снижении фильтрации за счет более полного использования условий, характерных для данного региона.

Одним из таких путей в условиях бассейна р. Амударьи является использование транспортируемых ею наносов в качестве антифильтрационного покрытия каналов. Разработки САНИИРИ по этому вопросу /I/ позволили на Ульяновском канале в Каршинской степи отказаться от дорогостоящих облицовок и ускорить ввод канала в эксплуатацию.

Расчеты [x], содержащие в своей основе опыт эксплуатации каналов в Средней Азии, показали, что при транспортировании по каналу взвешенных наносов фильтрационные потери в пределах первых 62 км, где ожидались наибольшие потери, на третий-четвертый год сократятся до величины, соответствующей КПД, близкому к 0,9.

Ульяновский канал запроектирован на расход 65 м^3/с ($\mathcal{B}$ = 6,0 м; m = 3,5; v = 0,5 м/с; i = 0,00003); до 18 км проходит большей частью в барханных мелкозернистых песках (K_Φ = 2,5-5,0 м/с) ниже - в переслаивающихся супесчаных, суглинистых, песчаных отложениях. Глубине бытовых грунтовых вод изменяется от 70-80 м в головной части канала до 6-10 м - после 50-го км.

Для определения величины потерь из канала были использованы объемный и гидрометрический методы. Замеры последним производились при равномерном режиме в канале - путем единичных замеров расходов; при переменном - путем замеров за несколько суток на трех выбранных гидропостах (головном на пикете 9+47, конечном на ПК 620 и промежуточном на ПК 186), с учетом времени добегания воды между ними. Промежуточный гидропост, разделив канал на два участка, позволил выделить потери, приходящиеся на песчаную часть канала, где величина их ожидалась наибольшей. Результаты приведены на рис. 1.

Совмещение по времени данных о потерях воды (приведенных к головному расходу 30,0 м^3/с) и ее мутностях на входе в канал указывает на связь между ними и зависимость первых от вторых. При прохождении по Ульяновскому каналу в первый год эксплуатации осветленной воды КПД его в течение всего 1973 г. оставался близким к 0,5. С поступлением в канал, начиная с 1974 г., взвешенных наносов КПД стал резко повышаться, достигнув к концу вегетации 0,85 (при

---

x) Прогноз фильтрационных потерь и разработка мероприятий по их сокращению для Ульяновской ветки Каршинского магистрального канала. Научно-технический отчет, САНИИРИ, Ташкент, 1972.

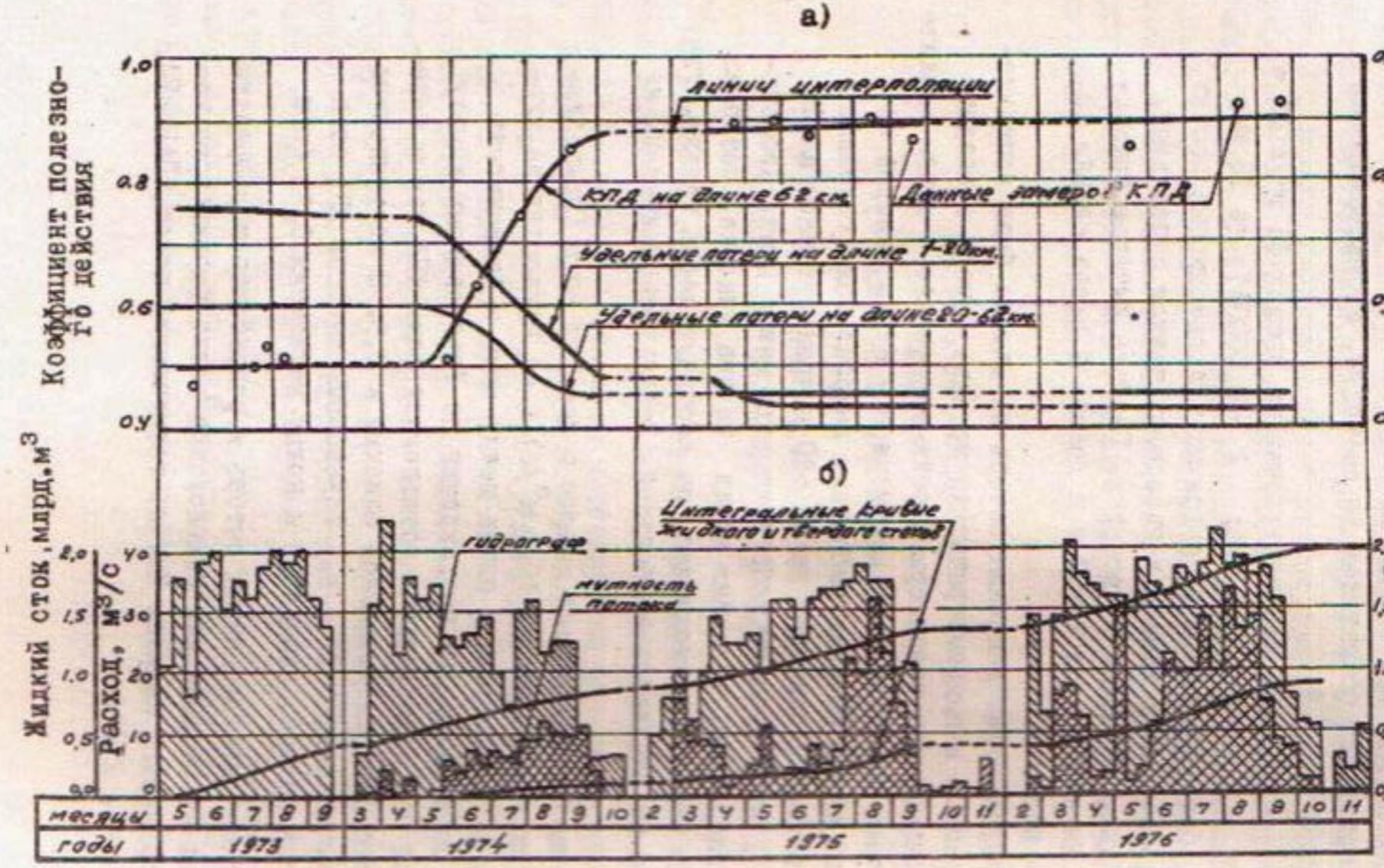


Рис.I.Динамика фильтрационных потерь-(а),а также гидрологические характеристики канала(среднедекадные)-(б).

средней мутности $\rho_{ср}$ = 0,27 кг/м^3). Далее, в 1975 г. он составил в среднем 0,89 ($\rho_{ср}$ = 0,52) и в 1976 г. - 0,9 - 0,91 ($\rho_{ср}$ = 0,77 кг/м^3).

Следует при этом подчеркнуть, что в межвегетационные периоды (а в 1974 г. и в вегетацию) водоподача в Ульяновский канал резко снижалась или прекращалась вообще, что приводило к образованию усадочных трещин в наилке. Тем не менее, как видно из приведенных данных, уже на второй год с начала поступления наносов КПД канала достиг расчетной (проектной) величины.

Величина КПД Ульяновского канала обуславливается в основном потерями на фильтрацию, так как потери на испарение не превышают 0,7% от головного расхода.

Снижение фильтрационных потерь из Ульяновского канала произошло в условиях относительно низкой мутности транспортируемого по нему потока (см. 1974-1975 гг.), что в условиях регулирования стока рек и все большего удаления новых зон орошения от источников питания будет наблюдаться, очевидно, в каналах все чаще.

Имеющийся опыт может быть использован более полно, если установить технологическую направленность работ (для аналогичных случаев), которая не определена из-за отсутствия в настоящее время единого мнения относительно причин снижения фильтрационного расхода при движении через образец грунта воды, содержащей взвешенные частицы.

Одни авторы /2, 3, 4/ снижение фильтрации в таких случаях объясняют проникновением взвешенных частиц в поры грунта с последующим осаждением их там и - как результат - уменьшением его водопроницаемости, т.е. кольматацией; другие /2/ считают, что фильтрация снижается исключительно в результате осаждения на поверхности образца и в каналах взвешенных частиц и создания экранирующего слоя заиления.

Вопросы эти имеют практическое значение, так как технологические требования, предъявляемые к созданию, эксплуатации и поддержанию противофильтрационного экрана, будут зависеть от его конструкции: экран, образуемый путем коль-

матации, требует решения вопросов по обеспечению требуемой глубины проникновения взвешенных частиц в фильтрующий грунт и достаточной насыщенности ими последнего; экран в виде слоя заиления (кайлка) – вопросов, связанных с регулированием твердого стока, восстановлением этого слоя в случае образования усадочных трещин в периодически действующих каналах.

На основании исследований кольматации мелкозернистых барханных песков для условий Ульяновского канала нами сделана попытка показать роль каждого из названных выше факторов в снижении фильтрации.

Методика исследований заключалась в следующем:

– в лабораторных и натурных условиях путем проведения специальных опытов по кольматации песчаных образцов и отрывки шурфов в опорожненном канале (или при сниженных горизонтах воды в нем) с послойным отбором проб грунта по глубине на механический анализ определялась насыщенность образцов и ложа Ульяновского канала частицами кольматанта;

– по имеющимся зависимостям коэффициента водопроницаемости песка от насыщенности его частицами кольматанта устанавливалась степень снижения водопроницаемости закольматированной толщи и возможное, соответствующее этому снижению, уменьшение фильтрации из канала;

– полученные результаты сравнивались с фактическим снижением потерь, полученным в натуре и лаборатории;

– дополнительно, в лабораторных условиях по распределению давления внутри закольматированных образцов, а также путем регистрации фильтрационного расхода, проходящего через них при последовательном снятии верхних слоев, выявлялась глубина кольматации образцов и ее эффективность.

Составы участвующих в кольматации грунтов приведены в табл. I.

Кольматант проверяли по рекомендуемой /3/ для барханных песков формуле И.В.Арабаджяна –

$$d_к \leq \frac{D_0}{3}, \qquad (I)$$

Таблица I

Механические составы грунтов

Наименование грунтов	Диаметры частиц, мм							Примечание
	> 0,5	0,2–0,5	0,1–0,2	0,1–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	< 0,005	
Песок ложа	4	40	44	9	3			
Взвешенные наносы в Ульяновском канале	–	–	9		19	64	8	Средние значения с 1974 по 1976 г.
Материал взвешенных наносов, используемый в лаборатории в качестве кольматанта	–	–	5		7	80	8	

где $d_к$ – диаметр кольматирующих частиц в суспензии;

D_o – средний расчетный диаметр фильтрационных пор, определяется по формуле М.П.Павчича.

$$D_o = 0{,}455\sqrt{\eta}\,\frac{n}{1-n}\,d_{17}, \qquad (2)$$

в которой η – коэффициент разнозернистости;

n – пористость, принята 0,42;

d_{17} – диаметр частиц, меньше которого в составе грунта содержится 17% по весу.

В соответствии с (2) D_o для песка в табл. I равен 0,04 мм; распределение пор в близком к нему по составу песке следующее /3/:

диаметр пор менее 0,03 мм – 30%;
диаметр пор менее 0,03–0,06 мм – 45%;
диаметр пор более 0,06 мм – 25%.

Из формулы (I), исходя из полученных значений диаметра фильтрационных пор, следует, что кольматируемыми (песок в

табл. I) являются частицы менее 0,015 мм. Их в составе взвешенных наносов Ульяновского канала 75%; для лабораторных опытов их количество повышено до 90%.

Таблица 2

Содержание кольматанта по глубине закольматированного слоя

Условия проведения опытов	Глубина от поверхности, см							Примечания
	I	2	5	I0	20	30	47	
Лабораторные	0,07 / 0,09	0,038 / 0,09	0,026 / 0,057	0,015 / 0,0480	0,0045 / 0,025	- / 0,008		
Ульяновский канал	- / 0,017	- / 0,015	- / 0,013	- / 0,011	- / 0,004			
Лабораторные	0,075	0,053	0,0284	0,0085	0,005	0,0036		данные Н.А.Бакашева

В табл. 2 приведены средние (числитель) и максимальные (знаменатель) значения насыщенности порового пространства кольматантом (ς), которые определялись весовым способом.

Плоскостью отсчета глубины в процессе взятия проб на механический состав в лабораторных образцах считалась их поверхность, с которой удалена пленка из взвешенных частиц толщиной около 1 мм; в шурфах - подошва образовавшегося в канале наилка.

В соответствии с распределением насыщенности глубина кольматации в лабораторных опытах достигает 20-30 см. Обращают на себя внимание большие значения ς в лабораторных опытах по сравнению с натурой. Это можно объяснить тем, что взвешенные наносы в Ульяновском канале были несколько крупнее, чем это принято в опытах (табл. I).

Кроме того, глубина и количество проникновения кольматанта в поры песка зависели, очевидно, от особенностей эксплуатации канала. Например, частые остановки канала в 1974 г. способствовали осаждению крупных фракций в составе наносов и образованию слоя заиления. В этих условиях кольма-

тация могла оказаться невозможной. Судя по табл. 2, глубина кольматации ложа канала была близка к нулю.

Для сравнения там же приведены результаты кольматации барханных песков (коэффициенты фильтрации 3,5–9,5 м/сут) бентонитовыми глинами (частиц менее 0,01 мм – 90,4%), полученные в лабораторных условиях /4/. Сопоставление их с данными САНИИРИ (лабораторные опыты) указывает на достаточно близкую сходимость распределения насыщенности порового пространства в закольматированных образцах по глубине.

По данным различных авторов /2/, глубина кольматации колеблется в широких пределах и даже в мелкозернистых песках доходит до 50 см. Однако представляет интерес, очевидно, не вся толща грунта в пределах глубины его кольматации, а только та ее часть, где за счет оседания кольматанта в порах грунта фильтрационная способность его значительно снижается (эффективная кольматация). В процессе опытов по кольматации песков установлены связи между количеством осевшей массы в порах кольматируемого грунта и его коэффициентом проницаемости /3/.

Наибольшее снижение водопроницаемости песка при равном содержании в его порах кольматанта дает формула Н.А.Бакашева:

$$K_n = K_n^{\circ}\left(1-\sqrt{S}\right)^{14}, \qquad (2)$$

где K_n и K_n° – конечный и начальный коэффициенты проницаемости кольматируемого грунта.

Подставляя в формулу (2) средние значения насыщенности из табл. 2 (в лабораторных опытах), получим распределение водопроницаемости по глубине закольматированных образцов и кратность ее снижения против исходной величины (табл. 3). Для сравнения там же приведены результаты натурных исследований /4/ в процессе коагуляционной (с использованием диспергирующих веществ) кольматации супесей. Они (см. табл. 3) согласуются с расчетными данными.

Таким образом, по материалам приведенных исследований можно заключить, что в результате кольматации мелкозернис-

Таблица 3

Отношение величины коэффициентов фильтрации грунтов до и после кольматации

Кольматируемый грунт	Исходный коэффициент фильтрации, м/сут	Глубина от поверхности, см							Примечание
		I	2	5	I0	20	30	47	
Барханный песок	5,0	74,9	20,9	II,7	6,2	2,7			Расчет по данным САНИИРИ
Барханный песок	3,5-9,2	76,0	39,0	I3,6	5,2	3,5	2,8	2,3	Расчет по данным Н.А.Бакашева
Супесь	0,3			I5,0	5,0	I,9	I,2		Натурные данные П.А.Гасана

тых грунтов снижение их водопроницаемости происходит в основном в верхнем 5-сантиметровом слое, где коэффициент фильтрации уменьшается против исходной величины в среднем в 75 раз у верхней границы слоя и 15 - у нижней.

Следует отметить, что гидротехническая практика инъекции грунтов так же указывает на ограниченное снижение их водопроницаемости. Например, предельный коэффициент фильтрации завес в гравелистых грунтах составляет в среднем 0,12-1,2 м/сут /5/, а в мелкозернистых песках при использовании растворов на основе тонкодисперсных глин, нагнетаемых под давлением до 60 атмосфер, - 0,1 м/сут /6/.

Возникает вопрос, во сколько раз закольматированная толща с указанными параметрами может снизить фильтрационные потери. Рассмотрим это на примере Ульяновского канала. Наблюдения за пьезометрической сетью в зоне канала показали, что за годы его эксплуатации бытовой грунтовый поток в пределах рассматриваемой длины 62 км поднялся незначительно, и в основном имеет место свободная фильтрация из канала.

Вычисленные по формуле (2) значения водопроницаемости закольматированной толщи, согласно данным табл. 2, осреднены по глубине (табл. 4) по формуле Г.Н.Каменского:

$$K_э = \frac{\delta_1 + \delta_2 + \ldots + \delta_n}{\frac{\delta_1}{K_1} + \frac{\delta_2}{K_2} + \ldots + \frac{\delta_n}{K_n}}, \qquad (3)$$

где $K_э$ - коэффициент фильтрации экрана заданной толщины, объединяющей несколько слоев;

K_i - коэффициент фильтрации грунта в слое;

δ_i - толщина слоя.

Исходный коэффициент фильтрации ложа канала (K_o) в табл. 4 определен, исходя из фактических потерь в 1973 г. (см. рис. 1) по формуле Н.Н.Павловского:

$$S = 11,6 \cdot K_o (B + 2h), \qquad (4)$$

Таблица 4

Водопроницаемость закольматированной толщи грунта

Глубина от поверхности, см	Исходный коэффициент фильтрации (K_0) м/сут	$(1-\sqrt{5})^{14}$	Толщина экрана, м	Коэффициент фильтрации экрана ($K_э$), осредненный по глубине, м/сут
I	0,92	0,0135	0,01	0,012
2	"	0,0479	0,02	0,021
5	"	0,0856	0,05	0,037
I0	"	0,162	0,I	0,06
20	"	0,377	0,2	0,I0
30	"		0,3	

где

S - фильтрационные потери в условиях свободной фильтрации из канала, равны 350 л/с на I км его длины;

B и h - ширина по урезу и наполнение; при головном расходе 30 м^3/с составляют, соответственно 27 и 3 м.

Величину потерь с учетом экрана рассчитывали по формулам С.В.Аверьянова (5) - видоизмененной нами с целью использования ее для каналов с пологими откосами ($m > 2$) - и В.И.Аравина (6)

$$S_э = \frac{11,6 \cdot K_0 (B+2h)}{1+\frac{2\delta}{B}\left(\frac{K_0}{K_э}-1\right)}, \qquad (5)$$

$$S_э = 11,6 \cdot K_э \frac{h+\delta}{\delta} B. \qquad (6)$$

Изменения в формуле (5) заключались в замене одной из образующих ее - формулы В.В.Ведерникова для свободной фильтрации - на (4).

Выбор расчетной формулы (5) или (6) определялся соотношением частей неравенства

$$K_э \frac{h+\delta}{\delta} \leqslant K_0, \qquad (7)$$

которое предложено В.В.Ведерниковым как критерий разрыва сплошности потока при фильтрации в двухслойной среде.

Расчеты показывают, что, например, при толщине закольматированной толщи 0,05 и 0,2 м при средних значениях из табл. 4 фильтрация из канала снижается соответственно в I,II и I,I5 раз.

Однако фильтрация из Ульяновского канала в пределах первых 20 км, где расположены песчаные участки, уменьшилась в 8-I0 раз (с 350 до 30-50 л/с на I км), а в лабораторных образцах - в среднем в 9 раз. Такое снижение согласно формуле (6) могло произойти в случае уменьшения водопроницаемости верхнего слоя толщиной 5 или 20 см соответственно в 500 или I30 раз, чего не наблюдалось ни в наших опытах по кольматации, ни в приведенных выше исследованиях других авторов.

Таким образом можно заключить, что кольматация мелкозернистых грунтов не может привести к существенному снижению фильтрации из каналов. При ориентации на максимальные величины насыщенности порового пространства кольматантом, полученные в лаборатории (табл. 2), предельным эффектом в случае благоприятного сочетания всех обусловливающих процесс кольматации факторов следует считать, очевидно, снижение фильтрации против исходной величины в 2-3 раза. При этом необходимо отметить, что направление усилий на увеличение насыщенности пор кольматантом требует строжайшего соблюдения сложной технологии работ.

Сказанное выше подтверждается результатами лабораторных опытов. В закольматированных образцах основной напор (до 95%) терялся в верхнем слое толщиной менее 5 см. Последовательное исключение из работы верхних слоев в этих образцах показало, что уже после снятия I см фильтрация восстанавливается до первоначальной величины (рис. 2). Относя снижение фильтрации в опытах (в 9 раз) только за счет верхнего слоя I см и учитывая, что исходный коэффициент филь-

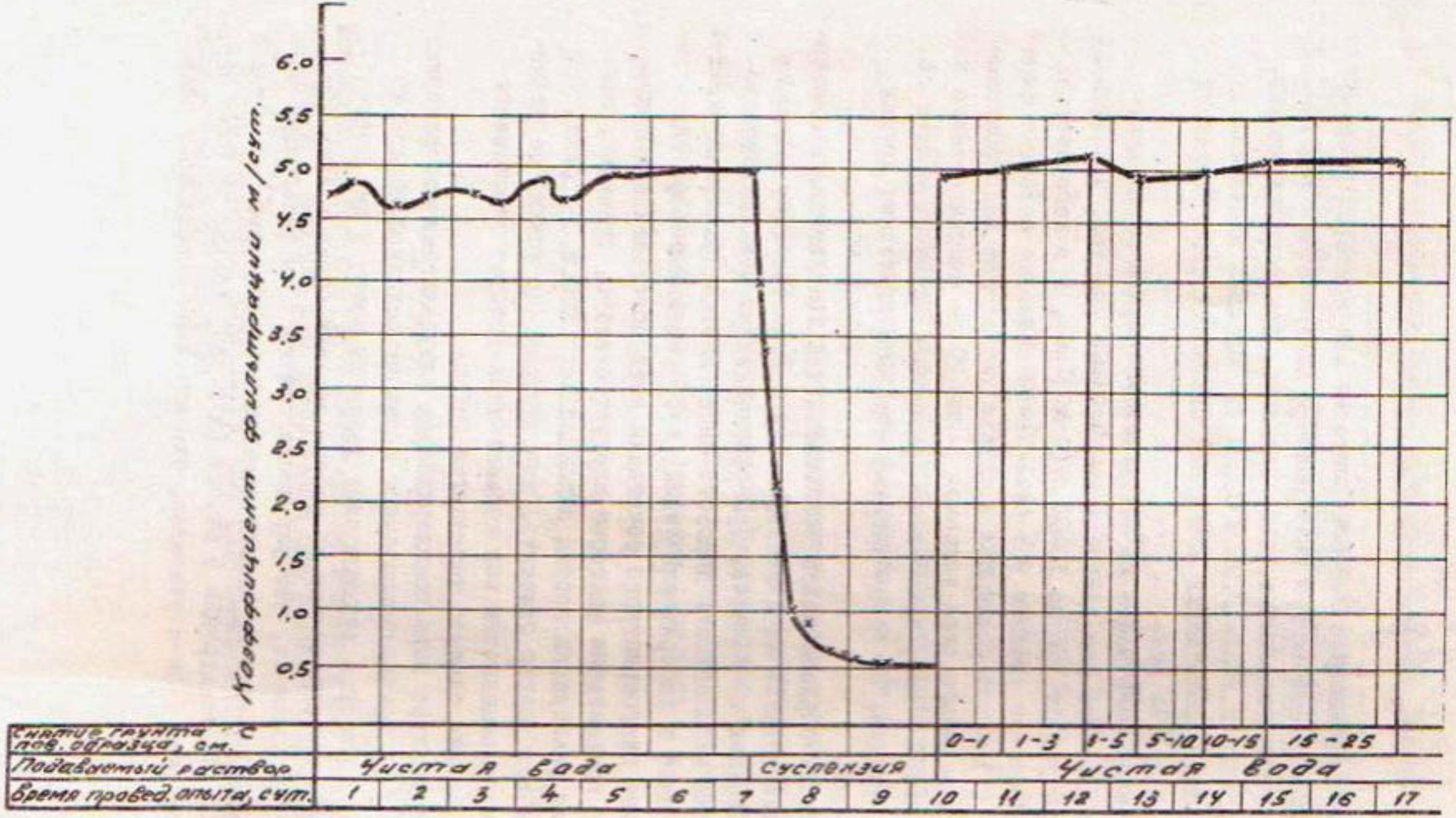


Рис.2.Изменение коэффициента фильтрации образца при удалении его верхних слоев.

трации равен 5,0 м/сут (табл. 3), получим по формуле (3), для чего K_1 = 0,01 м/сут, т.е. водопроницаемость этого слоя должна была уменьшиться в 500 раз. Но на глубине I см снижение это произошло в 74,9 раза (см.табл. 3). Следовательно, в работе участвует неучитываемый нами противофильтрационный элемент. Им является, очевидно, тончайший (в лабораторных опытах), образующийся постепенно в результате закупорки пор с поверхности, слой из взвешенных в потоке частиц, который по мере увеличивающихся на него градиентов напора в процессе его перераспределения в образце становится малопроницаемым.

В действующих каналах, особенно периодического действия, в условиях повышенных скоростей при попусках, грядового движения в песчаных руслах или в результате трещинообразования указанный слой теряет свои экранирующие свойства, и эта потеря носит необратимый характер. Снижение фильтрации из каналов обусловлено образованием экранирующего более толстого слоя заиления - наилка, состоящего из осевших взвешенных наносов.

Изменение мутностей на входе и выходе участков изучения КПД на Ульяновском канале, данные отрывки шурфов в опорожненном канале (или при сниженных горизонтах воды в нем), инструментальные замеры позволили установить следующее:

- из поступивших в канал взвешенных наносов, примерно, 25% осело в виде слоя заиления - наилка; остальные прошли ниже гидроствора на ПК 620;

- средняя величина ежегодных приращений толщины наилка в ложе канала составила 2,5-4,5 см. Коэффициент фильтрации материала наилка, вычисленный, исходя из фактических величин его толщины и фильтрационных потерь из канала, составляет 0,003-0,006 м/сут. Его механический состав (средние значения): частиц диаметром менее 0,005 мм - 3%; 0,005-0,01 мм - 25%; 0,01-0,05 мм - 55%; более 0,05 мм - 17%.

В разрезе наилок представляет собой довольно однородную массу, переходящую книзу в переслаивающуюся толщу отложившихся наносов и грунта ложа. На песчаных участках

верхняя однородная масса наилка почти отсутствует, но развита переслаивающаяся толща, которая образуется в результате совместного действия процессов отложения наносов, дифляции и частичного размыва откосов;

- при опорожнении канала или снижении в нем горизонтов воды в летнее время наилок покрывается сетью усадочных трещин, что может привести к потере им экранизирующих свойств. Последняя наблюдается у тонкого наилка - до 0,5 см: он трескается на мелкие частицы, которые деформируются и перемещаются ветром. Однако при толщине 3-6 см деформации межтрещинных блоков не отмечается, а размеры их оказываются достаточными, чтобы под действием собственного веса устойчиво лежать в месте своего образования. После поднятия уровней воды в канале благодаря смыканию или оплывания краев трещин при набухании происходит их "залечивание", и противофильтрационные свойства наилка восстанавливаются.

На участках канала, где развита переслаивающаяся толща, процесс образования усадочных трещин в слагающих ее слоях наилка замедлен. Это вызвано тем, что покрывающие их грунты способствуют удержанию влаги и толща в целом при снижении уровней воды в канале значительно дольше по сравнению с открытым с поверхности наилком сохраняет свои противофильтрационные свойства.

Использование взвешенных наносов для создания противофильтрационного экрана на Ульяновском канале позволило ускорить срок ввода его в эксплуатацию на I год. Сравнение (по методу приведенных затрат) осуществленного мероприятия с рассматриваемым при проектировании канала и принятым за базовый вариантом бетонной облицовки показало, что годовой экономический эффект от внедрения составил на Ульяновском канале I,5 млн.руб.

Выводы

I. Опыт первых лет эксплуатации Ульяновского канала показал высокую эффективность использования взвешенных наносов для осуществления антифильтрационных мероприятий. Он

может найти практическое применение в каналах, проходящих в мелких песках, супесях, суглинках.

2. При условии транспортирования по каналам взвешенных наносов диаметром менее 0,05 мм в количестве 0,7-1,0 кг/м^3 фильтрация из них на второй год эксплуатации снижается до 0,1-0,2% от головного расхода на 1 км. Это делает антифильтрационное покрытие из наносов конкурентноспособным по отношению к другим видам облицовок, особенно в случаях, когда необходимо срочно подать воду и сократить сроки строительства каналов.

3. При осуществлении подобных проектов основное внимание должно быть обращено на создание экранирующего слоя заиления - наилка с заданными антифильтрационными свойствами и сохранение их на период эксплуатации канала. Частиц диаметром менее 0,05 мм в составе наилка должно быть более 90-95%.

4. Стоимость одного квадратного метра такого покрытия в машинных каналах при высоте водоподъема 90,0 м составит около 0,6 руб.

Литература

1. Бочарин А.В. Расчет фильтрационных потерь из каналов с учетом их естественной кольматации. - Экспресс-информация, серия 5, вып. 7. Водохозяйственное строительство, М., ЦБНТИ, 1974.
2. Куприна Г.А. Кольматация песков, Изд-во МГУ, 1968.
3. Бакашев Н.А., Новицкий В.А., Сапаров Б. Некоторые вопросы фильтрации и кольматации русла каналов, Ашхабад, Изд-во "Ылым", 1973.
4. Губина Н.И., Васюра А.Г., Гасан П.А., Шуляковский В.М., Пономаренко Ю.Ф. Коагуляционная кольматация - способ борьбы с фильтрацией в каналах, "Гидротехника и мелиорация", М., № 1, 1978.
5. Камбефор А. Инъекция грунтов. Принципы и методы. Перевод с французского, М., "Энергия", 1971.
6. Аллас Э.Э., Мещеряков А.Н. Укрепление оснований гидротехнических сооружений, М.-Л., 1966.

К.А.АДЫЛОВ
кан.техн.наук,ст.научный сотрудник
И.А. ГОРЕВ
рук. группы
Л.Р.РЕЧИЦКАЯ
ст.научный сотрудник
(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПОДАЧИ НАСОСНЫМИ СТАНЦИЯМИ КАРШИНСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА ПО УДЕЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АГРЕГАТОВ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ВЫСОТЕ КАЧАНИЯ

Значительный разброс точек, обусловленный неустановившимся гидравлическим режимом в каналах с машинным каскадным водоподъемом, не позволяет использовать для установления расходов воды, подаваемых насосными станциями, общепринятую зависимость $Q=f(H)$. Поэтому для определения водоподачи насосными станциями № I и № 6 Каршинского магистрального канала была предпринята попытка установить зависимость подачи воды от потребляемой агрегатами мощности. Наличие такой связи было установлено предыдущими исследованиями на Амубухарском канале /I/. Однако построить уточненные рабочие характеристики агрегатов не представилось возможным, так как имеющиеся на насосах указатели поворота лопастей не позволяют с достаточной точностью фиксировать угол установки.

Насосные станции № I и 6 Каршинского каскада оборудованы агрегатами осевого поворотно-лопастного типа ОПII-260Г с диапазоном подачи 30-43 $м^3/с$ (насосная станция I) и ОПIO-260Г с диапазоном подачи 28-42 $м^3/с$ (насосная станция 6).

Для регулирования водоподачи служба эксплуатации пользуется зависимостью потребляемой агрегатами мощности от водоподачи, установленной по рабочей характеристике насосных агрегатов. Технология установки водоподачи состоит в следующем: при известной геометрической высоте качания определяют положение лопаток, при котором потребляемая мощность соответствует заданной подаче воды. В результате,

хотя фиксируемый в эксплуатационных журналах угол разворота лопастей и не равен фактическому, однако близок к расчетному.

В связи с тем, что при регулировке водоподачи угол разворота лопастей устанавливается не произвольно, а в соответствии с рабочей характеристикой, имеется возможность уточнить эту зависимость, не принимая во внимание угол разворота лопастей, фиксируемый указателями.

По результатам вертушечных измерений расхода воды в створах гидропостов насосных станций I и 6, данным службы эксплуатации об уровнях воды верхнего и нижнего бьефов и суммарной для всех работающих агрегатов потребляемой мощности определены удельная производительность каждой насосной станции на единицу потребляемой мощности ($\frac{Q}{N}$) и геометрическая высота качания (H). По полученным данным построены кривые зависимости удельной производительности от геометрической высоты качания по каждой насосной станции при работе в зоне оптимального КПД (рис. I а, б). Среднее квадратичное отклонение расходов

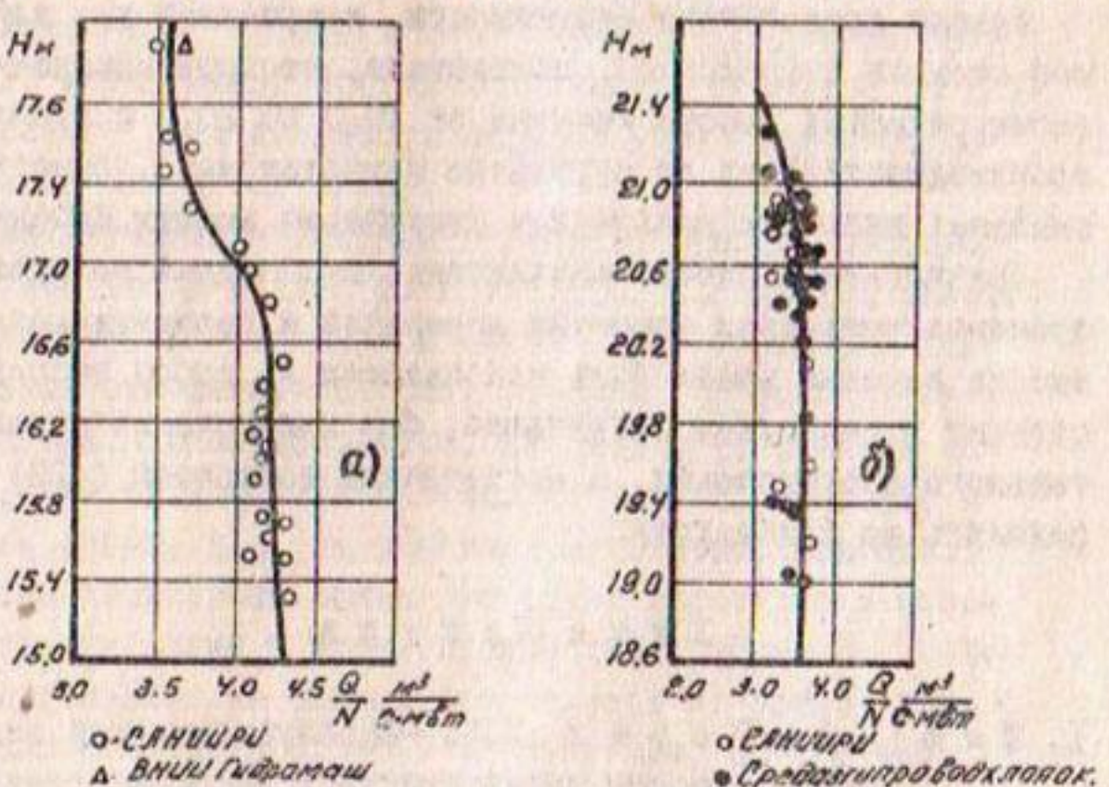


Рис. I. График связи удельной производительности агрегатов насосных станций Каршинского магистрального канала в зависимости от геометрической высоты качания: а) - насосная станция № I;
б) - насосная станция № 6.

определенных предлагаемым методом, от измеренных вертушкой составляет при этом ±2%, в то время как при способе учета, применяемом службой эксплуатации Каршинского магистрального канала, оно равно ±10%.

Анализ кривой на рис. Iа показывает, что при изменении геометрической высоты качания от I5 м до I6,8 м удельная производительность агрегатов насосной станции I изменяется незначительно, уменьшаясь от 4,25 до 4,I0 $м^3/с$ на мегаватт. При изменении высоты качания в интервале от I6,8 до I7,4 м наблюдается резкое снижение удельной производительности – до 3,60 $м^3/с$ на I мегаватт, что при суммарно потребляемой пятью агрегатами мощности, равной, например, 50 мегаватт, приводит к "потерям" расхода, составляющим 0,6x50=30 $м^3/с$ или по 6 $м^3/с$ на каждый агрегат. При дальнейшем увеличении высоты качания до I8 м удельная производительность изменяется мало. Таким образом, наибольшая удельная производительность агрегатов насосной станции I может быть достигнута при геометрической высоте качания, не превышающей I6,8 м.

Анализ аналогичной зависимости, полученной для насосной станции 6 (рис. Iб), показывает, что при изменении геометрической высоты качания от I9,0 до 20,6 м удельная производительность ее агрегатов меняется мало, заметно снижаясь лишь при дальнейшем увеличении высоты качания.

Предлагаемый способ определения водоподачи по удельной производительности насосных агрегатов и геометрической высоте качания может быть использован на любой насосной станции и позволяет оперативно, без привлечения дополнительного оборудования, с достаточной точностью (±2%) определять ее водоподачу.

Литература

I. Тян В.К., Горев И.А. -Эксплуатационная водоэнергетическая характеристика насосных станций, Труды САНИИРИ, вып. I35, I972.

Т. ЖУРАЕВ
канд.техн.наук, ст.научный сотрудник
Х.А.ИСМАГИЛОВ
канд.техн.наук, ст.научный сотрудник
(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

ХАРАКТЕРИСТИКА ОТЛОЖЕНИЙ НАНОСОВ В РУСЛАХ СЕЛЕНОСНЫХ ВОДОТОКОВ

Закономерность протекания селевого потока в значительной степени зависит от крупности и механического состава наносов, слагающих русло селеносных саев.

Материал, слагающий аллювиальные участки русл селеносных саев, характеризуется широким диапазоном и разнообразием фракционного состава, определяющимся не только расходом и уклоном воды, но и зависящим от географического расположения русл, их плановой конфигурации и условий формирования, а также от режима твердого и жидкого стока, влияния дополнительных притоков и наличия подпора потока, от минералогического состава и геологического строения бассейна /I/. Фракционный состав отложений изменяется по длине селеносного сая: крупность наносов уменьшается от начала образования к его концу.

С целью изучения изменения величины донных отложений по длине водотоков в 1976 г. нами были обследованы некоторые селеносные саи Ферганской долины. Для этого брались пробы донных отложений рек Сох, Майлису, Чартаксай, Гавасай, Резаксай, преимущественно, на нижних устойчивых их участках, где прохождение селевых потоков не приводит к деформации русла, т.е. на участках транспорта наносов. Производили трехмерный обмер руслового галечника и ситовой анализ отложений в трех, произвольно выбранных, створах, расположенных на разных расстояниях от устьев рек. Пробы брали с площади 0,5-0,5 м (примерно, 80-130 кг). Средний диаметр отдельных камней вычисляли по выражению

$$d = \frac{e+b+h}{3} \qquad (I)$$

Таблица

Гранулометрический состав донных отложений селеносных саев

Водотоки	Пункт	$d > 40$	30,0	I5,0	7,5	3,75	I,88	0,94	0,47	0,22	0,I4	$d_{ср.}$ мм	Σ_f	J
Майлису	Кукташ	57,5	I4,0	II,5	II,5	II,9	5,I	6,5	3,3	0,2	0,2	40,0	I2I,7	0,0I0
Майлису	Маданият	66,4	I4,9	I3,7	II,6	I0,I	2,6	2,2	I,5	0,5	0,2	4I,8	I23,7	0,0I2
Сох	Сарыканда	I08	8,0	5,3	3,2	2,4	0,8	3,0	2,0	I,0	-	40,5	I33,7	0,006
Сох	Дувайрам	89,8	7,2	4,4	3,6	I,7	0,6	I,3	3,4	I,8	0,85	34,3	II4,65	0,0I04
Сох	Нефтепровод	95	8,9	6,0	4,8	2,2	0,9	I,5	3,I	I,0	0,30	34,0	I23,7	0,0089
Чартак	Сан.Чартак	47,8	36,7	I3,4	3,8	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	-	36,8	I04,3	
Чартак	200 м ниже ж/д моста	I7,0	I4,0	5,5	I,I	2,I	0,5	0,6	0,65	0,40	0,40	36,I	42,2	
Чартак	Дюкер СФК	I7,3	I6,6	9,0	5,I	2,3	0,6	0,5	2,0	2,8	I,3	29,3	57,5	
Гавасай	Ташкурган	75,2	8,6	6,2	5,4	2,7	I,2	3,3	3,0	0,6	0,2	64,4	I06,4	
Гавасай	У ав.моста	34,4	I6,2	8,7	5,8	5,8	3,I	5,8	6,0	2,I	I,6	35,7	89,5	
Гавасай	У ж/д моста	22,2	I5,3	9,4	7,4	5,3	2,6	5,2	4,3	I,8	I,5	24,7	78,0	
Разаксай	Мост на с/з "XX партсъезд"	30,4	I0,4	5,5	4,8	4,2	I,4	2,6	I,7	0,7	0,I	44,0	6I,8	0,0I4
Разаксай	Авт.мост Наманган -Чуст	28,3	I7,6	9,8	7,I	5,4	I,6	3,9	3,I	I,7	0,4	34,4	78,9	0,0I25
Разаксай	Устье	26,8	II,0	I2,0	II,5	I3,0	3,2	4,8	3,2	I,0	-	22,0	68,5	

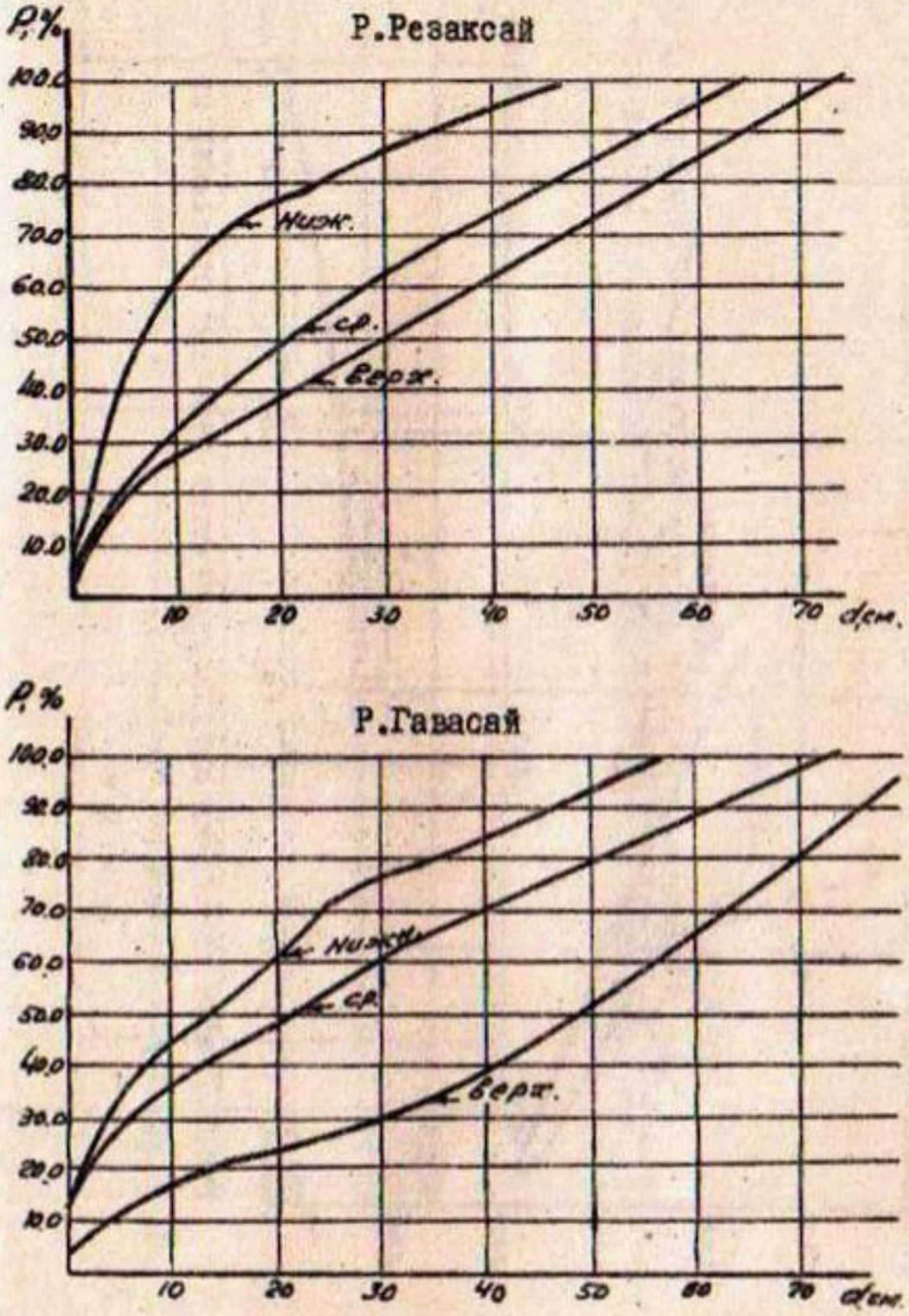


Рис.I.Гранулометрический состав донных отложений.

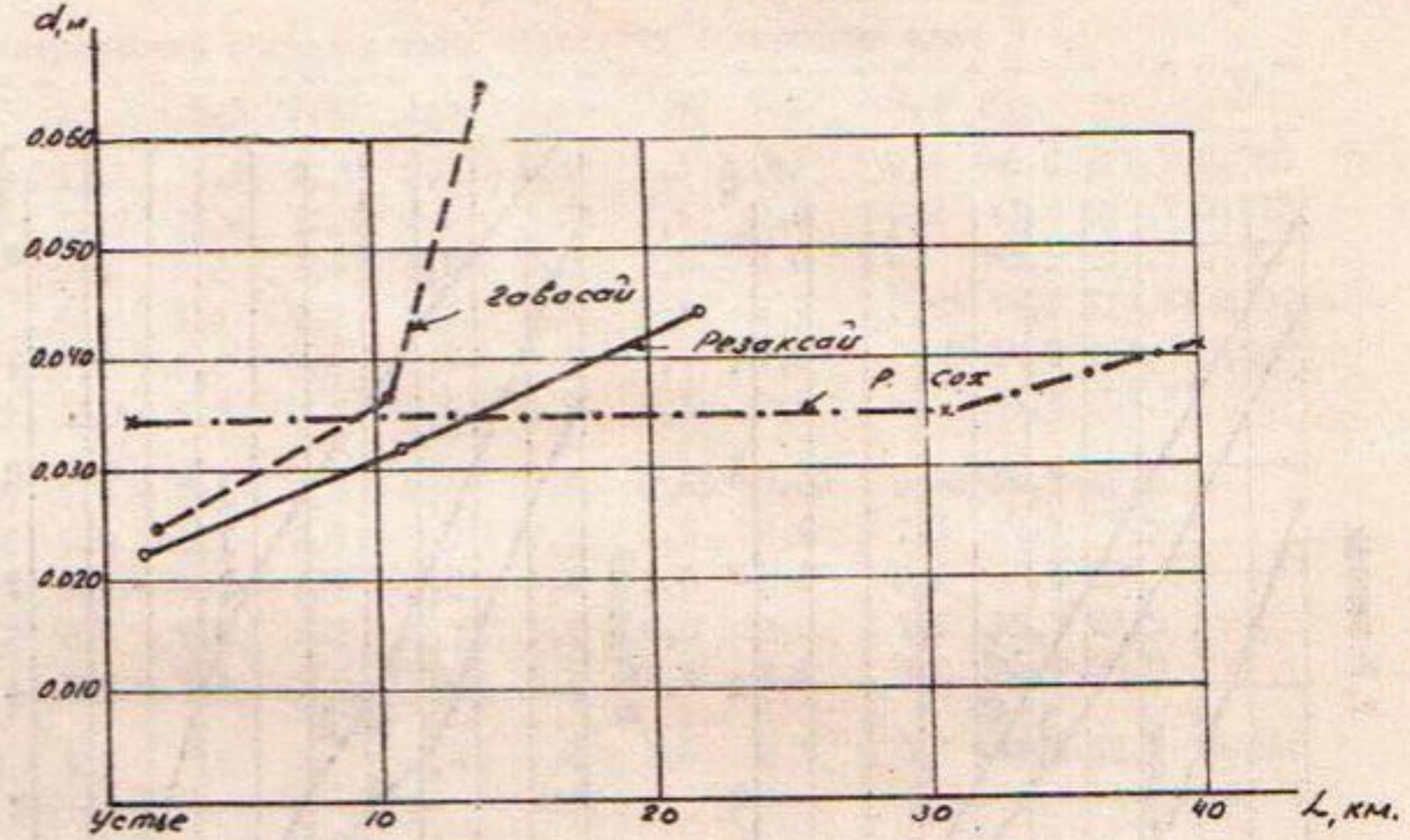


Рис.2.График изменения среднего диаметра русловых отложений по длине селеносных саев.

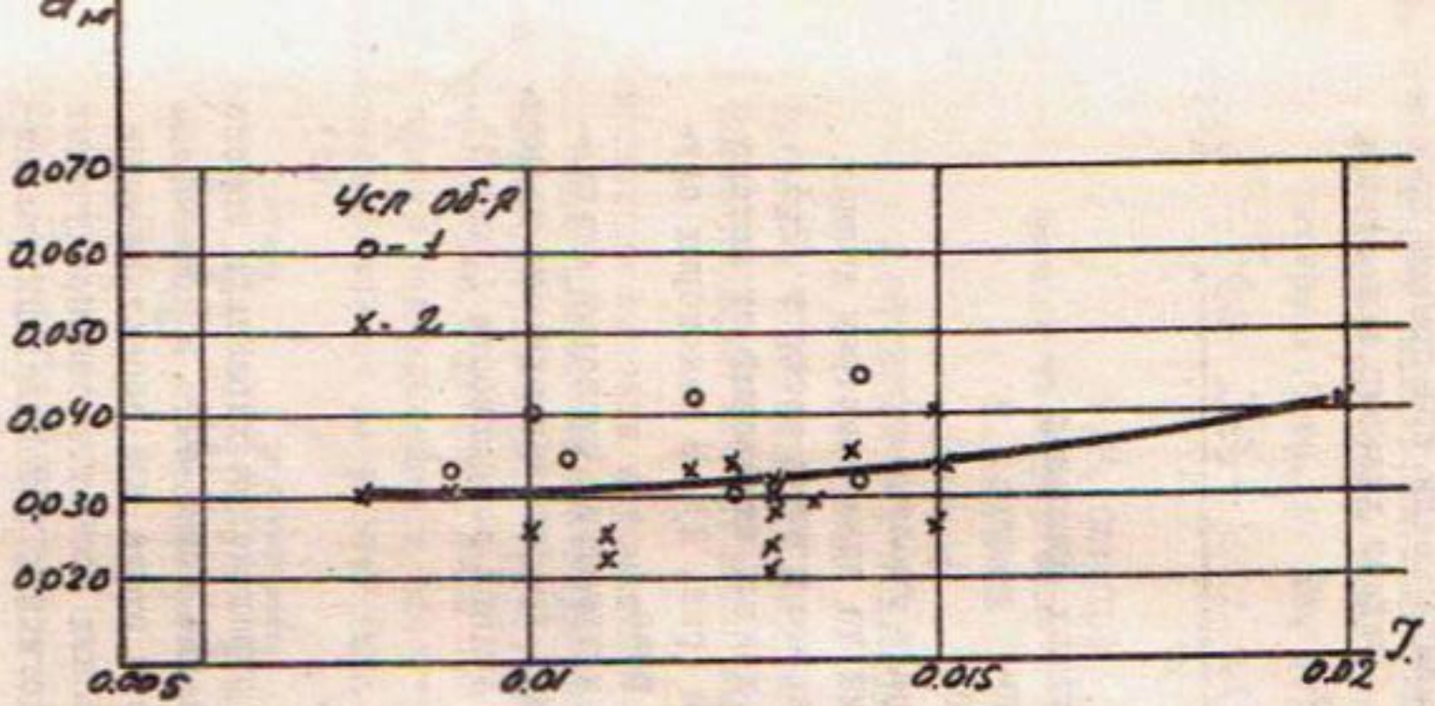


Рис.3.График зависимости диаметра донных отложений от уклона водной поверхности:I-данные САНИИРИ за 1976г; 2-данные Е.К.Рабковой.

Остальные малые фракции анализировали при помощи лабораторных сит типа "КСИ-00-ОПС". Средний диаметр для створа определяли по следующей формуле:

$$d_{ср} = \frac{(d_1 \cdot P_1) + (d_2 \cdot P_2) + \ldots\ldots + (d_n \cdot P_n)}{P}, \qquad (2)$$

где

d_1, d_2, d_n – диаметры отдельных фракций;

P_1, P_2, P_n – вес по фракциям;

P – общий вес проб.

Результаты анализа приведены в таблице.

Материалы наших исследований по гранулометрии донных отложений (рис. I), а также данные других авторов /2,3/ показали, что средний диаметр донных отложений от истока к устью постепенно уменьшается (рис. 2). В некоторых случаях он уменьшается в I,5-3,0 раза.

Накопленный материал по гранулометрии русловых отложений /2/ дал возможность получить график зависимости диаметра донных отложений от уклона водной поверхности (рис. 3), который можно выразить так:

$$d = 0{,}19\, J^{0{,}4} \qquad (3)$$

Результаты исследований по определению характера изменения гранулометрии донных отложений могут быть использованы для определения сопротивляемости русла при проектировании сооружений, а также гидравлических расчетов селепропускных сооружений, находящихся в аналогичных естественных условиях.

Литература

I. Талмаза В.Ф., Крошкин А.Н. Гидроморфометрические характеристики горных рек, Фрунзе, изд-во "Киргизстан", 1968.

2. Рабкова Е.К. Исследования селевых потоков в районе предгорий северной Ферганы. "Вопросы гидротехники", вып. 8, Ташкент, 1956.

3. З у д и н а Н.И. Гранулометрия русловых отложений горно-предгорной зоны Узбекистана. Изд-во географ.об-ва, т. XIII, Ташкент, Изд-во "Фан", 1971.

М.Р. САЛИХОВ
канд.техн.наук, зав. сектором
И. БЕГИМОВ
аспирант
(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

РАСЧЕТ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ НИЖНЕГО БЬЕФА

Рассмотрим системы автоматического регулирования (САР) уровня воды нижнего бьефа гидротехнических сооружений с импульсным регулятором. Блок-схема САР приведена на рис.I. Расчет системы подобного рода дан в работе /4/, где не учтено однако запаздывание в объекте регулирования, который значительно влияет на работу САР.

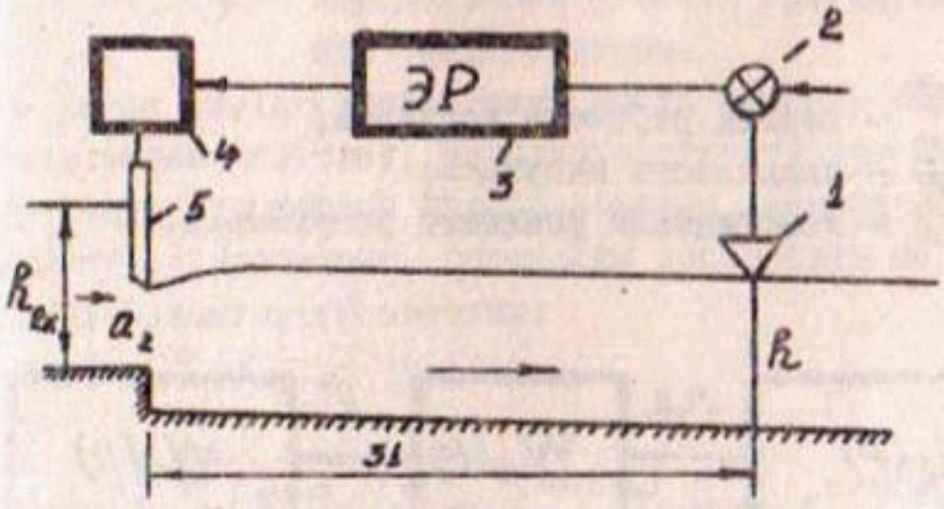


Рис. I. Блок-схема САР уровня воды нижнего бьефа ГТС:
I - датчик уровня; 2 - механизм изменения уставки; 3 - авторегулятор; 4 - электропривод; 5 - затвор гидротехнического сооружения.

В настоящей работе приводится расчет САР при использовании методики приведенной в работе /I/, с учетом запаздывания и определяется область ее устойчивости. Передаточная функция объекта регулирования /2/, при отсутствии отраженных волн с нижнего бьефа, выражается в следующей формуле:

$$W_o(P) = \frac{\mathcal{L}_1 P + K_1}{T_1 P + 1} \cdot \frac{\gamma_1 \cdot N_H}{X_2} \cdot exp(-\bar{b} P) \qquad (I)$$

Здесь $T_1, \mathcal{L}_1, K_1, \gamma_1, X_2, N_H, \bar{b}_1$ определяется из режима работы канала и гидротехнического сооружения /2/.

Передаточная функция исполнительного механизма

$$W_{uy}(P) = \frac{K_{uy}}{P}, \qquad (2)$$

где

K_{uy} - скорость перемещения затвора.

Передаточная функция формирующего элемента (импульсного регулятора)

$$W_\phi(P) = K_P \cdot \frac{1 - e^{-\gamma P T}}{P} \qquad (3)$$

Здесь

T - период рабочего испульса;

$\gamma = \frac{T_u}{T}$ - скважность импульса;

K_P - коэффициент усиления регулятора.

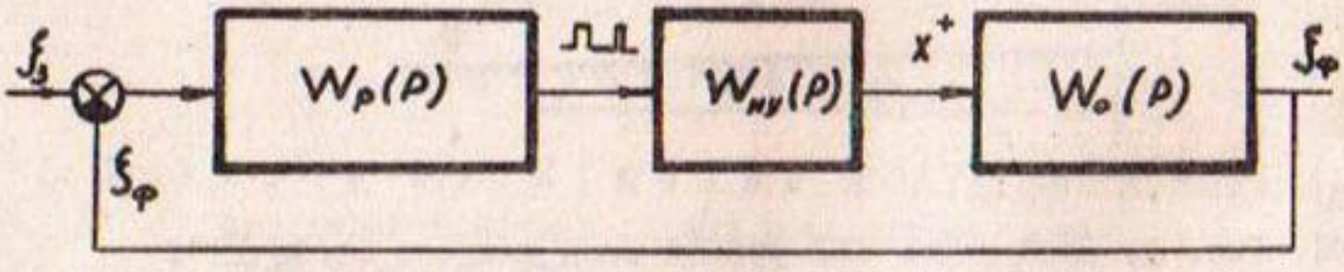


Рис. 2. Структурная схема САР.

Структурная схема САР показана на рис. 2. Передаточная функция разомкнутой системы имеет следующий вид:

$$W(p)=\frac{K(\tau_1 p+K_1)\,(1-e^{-\gamma_p T})}{p^2(T_1 p+1)}\cdot e^{x p-\bar{\tau}_1 p}, \qquad (4)$$

где

$$K=\frac{K_{uy}\cdot\gamma_1\cdot N_H}{x_2}.$$

Введем относительный масштаб времени, заменив $p=\frac{q}{T}$

$$W(q)=\frac{K(\tau_1 q+K_1 T)}{(q+\beta)\cdot q}\cdot\frac{e^{-\gamma_1 q}-e^{-(\gamma+\gamma_0)q}}{q}= \qquad (5)$$

$$=K_H(q)\cdot\frac{e^{-\gamma_0 q}-e^{-(\gamma+\gamma_0)q}}{q}.$$

Здесь

$K_H(q)$ – передаточная функция приведенной непрерывной части системы.

В нашем случае непрерывная часть системы имеет "чистые" запаздывания; поэтому, используя структурную схему (рис.3) и применяя дискретные преобразования Лапласа /I/, согласно принципу суперпозиции, определим дискретную передаточную функцию разомкнутой системы:

при $0\le\varepsilon\le\gamma_0$

$$K^*(q,\varepsilon)=\sum_{v=1}^{S}\sum_{\mu=0}^{\varepsilon_0-1}\frac{C'_{v\mu}}{\mu!}\cdot\frac{d^\mu}{dq_v^\mu}\left\{\frac{e^{q_v}}{e^q-e^{q_v}}\cdot e^{q_v(\varepsilon-\gamma_0)}-\frac{e^{q_v}}{e^q-e^{q_v}}\cdot e^{q_v(\varepsilon-\gamma_0-\gamma_0)}\right\};$$

при $\gamma_0\le\varepsilon\le\gamma_0+\gamma$ – (6)

$$K^*(q,\varepsilon)=\sum_{v=1}^{S}\sum_{\mu=0}^{\varepsilon_0-1}\frac{C'_{v\mu}}{\mu!}\cdot\frac{d^\mu}{dq_v^\mu}\cdot\left\{\frac{e^{q_v}}{e^q-e^{q_v}}\cdot e^{q_v(\varepsilon-\gamma_0)}-\frac{e^{q_v}}{e^q-e^{q_v}}\cdot e^{q_v[\varepsilon-(\gamma_0+\gamma)]}\right\};$$

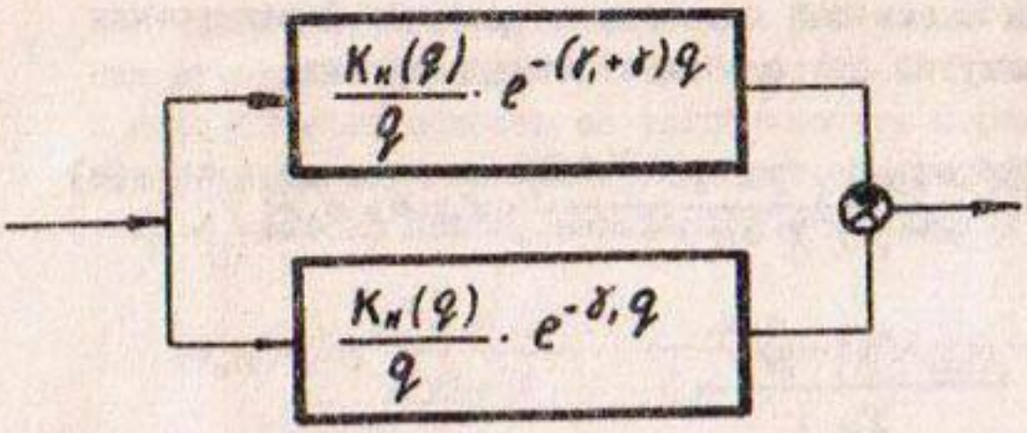


Рис.3. Структурная схема для определения дискретной передаточной функции.

при $\gamma_0 + \gamma_1 \leq \varepsilon \leq 1$

$$K^*(q,\varepsilon) = \sum_{\nu=1}^{S} \sum_{\mu=0}^{\tau_\nu - 1} \frac{C'_{\nu\mu}}{\mu!} \cdot \frac{d^\mu}{dq_\nu^\mu} \cdot \left\{ \frac{e^{q\nu}}{e^q - e^{q_\nu}} \cdot e^{q_\nu(\varepsilon-\gamma_0)} \frac{e^q}{e^q - e^{q_\nu}} \cdot e^{q_\nu[\varepsilon-(\gamma_0+\gamma)]} \right\},$$

где,

$$C'_{\mu\nu} = \frac{1}{\tau_{\nu\mu}-1} \cdot \frac{d^{\tau_{\nu\mu}-1}}{dq^{\tau_{\nu\mu}-1}} \left[\frac{P_н(q)}{Q_н(q)} (q - q_\nu) \right]_{q=q_\nu} \qquad (7)$$

Здесь

$$P_н(q) = (L_1 q + K_1 T) \cdot K \cdot \beta, \quad Q_н(q) = q(q+\beta).$$

Решая характеристическое уравнение $Q(q) = 0$ приведенной непрерывной части системы, получим:

$$q_\nu = q_1 = -\beta, \quad q_0 = 0, \quad \tau_0 = 1 \quad \tau_\nu = 1$$

Определим по формуле (7) значение коэффициентов:

$$C_{00} = \frac{K(L_1\beta - K_1 T)}{\beta}; \quad C_{01} = KK_1 T; \quad C_{10} = \frac{K(K_1 T - L_1 \beta)}{\beta}.$$

Тогда выражение (6) примет следующий вид:

при $0 \leq \varepsilon \leq \gamma_0$

$$K^*(q,\varepsilon) = KK_1T\frac{\gamma}{e^q-1} + \frac{K_1T-L_1\beta}{\beta}\cdot\frac{(1-e^{-\beta\gamma})}{e^q-e^{-\beta}}\cdot e^{-\beta(1+\varepsilon-\gamma)}; \quad (8)$$

при $\gamma_0 \leq \varepsilon \leq \gamma_0+\gamma$

$$K^*(q,\varepsilon) = \frac{K(L_1\beta-K_1T)}{\beta} + KK_1T\left[(1-\gamma_0)+\frac{\gamma}{e^q-1}\right] + \frac{(K_1T-L_1\beta}{\beta}\cdot\frac{1-e^{[q-\beta(\varepsilon-\gamma_0)]}}{e^q-e^{-\beta}}$$

при $\gamma_0+\gamma_1 \leq \varepsilon \leq 1$

$$K^*(q,\varepsilon) = KK_1T\left[\frac{\gamma+\varepsilon-\gamma_0}{e^q-1}\cdot e^q\right] + \frac{(K_1T-L_1\beta)\cdot K}{\beta}\cdot\frac{1-e^{\beta\gamma}}{e^q-e^{-\beta}}\cdot e^{[q-\beta(\varepsilon-\gamma_0)]}$$

Передаточная функция замкнутой системы рассчитывается по формуле

$$W_3^*(q,\varepsilon) = \frac{K^*(q,\varepsilon)}{1+K^*(q,0)} = \frac{P(q,\varepsilon)}{Q(q)}, \quad (9)$$

$K^*(q,\varepsilon)$ и $K^*(q,0)$ определяются выражением (8).

Зная передаточную функцию $W_3(q,\varepsilon)$, можно определить все характеристики переходных процессов и область устойчивости замкнутой системы.

Характеристическое уравнение замкнутой системы имеет вид

$$Q(q) = P(q,0) + G(q,0) =$$

$$= \beta\cdot e^{2q} + [\beta K\cdot K_1T\gamma_0 + (K_1T-L_1\beta)(1-e^{-\beta\gamma})\cdot K\cdot e^{-\beta(1-\gamma_0)}]\cdot e^q +$$

$$+ \beta\cdot e^{-\beta} - \beta\cdot K\cdot K_1T\gamma_0 e^{-\beta} - (K_1T-L_1\beta)(1-e^{-\beta\gamma})K\cdot e^{-\beta(1-\gamma_0)} = 0 \quad (10)$$

Для определения области устойчивости замкнутой системы регулирования по критерию Гурвица /I/, из выражения (I0) находим коэффициенты характеристического уравнения:

$$\left.\begin{aligned} a_0 &= \beta \cdot e^{-\beta} - \beta K \cdot K_1 T \gamma_0 \cdot e^{-\beta} - (K_1 T - L\beta)(1 - e^{-\beta\gamma}) K \cdot e^{-\beta(1-\gamma_0)} \\ a_1 &= \beta K K_1 T \gamma + (K_1 T - L\beta)(1 - e^{\beta\gamma}) \cdot K \cdot e^{-\beta(1-\gamma_0)} - \beta(1 + e^{-\beta}) \end{aligned}\right\} \quad (II)$$

$$a_2 = \beta$$

Система устойчива при выполнении условий

$$a_2 + a_1 + a_0 > 0$$

$$a_2 - a_1 + a_0 > 0$$

$$a_2 - a_0 > 0$$

или

$$\beta \cdot K \cdot K_1 T \gamma_0 (1 - e^{-\beta}) > 0$$

$$\left.\begin{aligned} 2\beta(1 + e^{-\beta})(1 - K \cdot K_1 T \gamma_0) - 2(K_1 T - L_1 \beta)(1 - e^{-\beta\gamma}) \cdot K \cdot e^{-\beta(1-\gamma_0)} &> 0 \\ \beta(1 - e^{-\beta}) + \beta \cdot K \cdot K_1 T \gamma_0 \cdot e^{-\beta} + (K_1 T - L\beta)(1 - e^{-\beta\gamma}) K \cdot e^{-\beta(1-\gamma_0)} &> 0 \end{aligned}\right\} \quad (I2)$$

Решая системы неравенств (I2), найдем область устойчивости САР в функции параметра $K = f(\beta)$ при различных γ (рис. 4). Наличие в непрерывной части "чистого" запаздывания сужает область устойчивости системы. Параметры регулятора выбираются внутри области устойчивости.

Зная область устойчивости системы и имея импульсную переходную характеристику объекта регулирования, кривую переходного процесса в замкнутой САР можно построить более проще, чем при использовании передаточной функции (9).

Функцию переходного процесса в таком случае можно записать так:

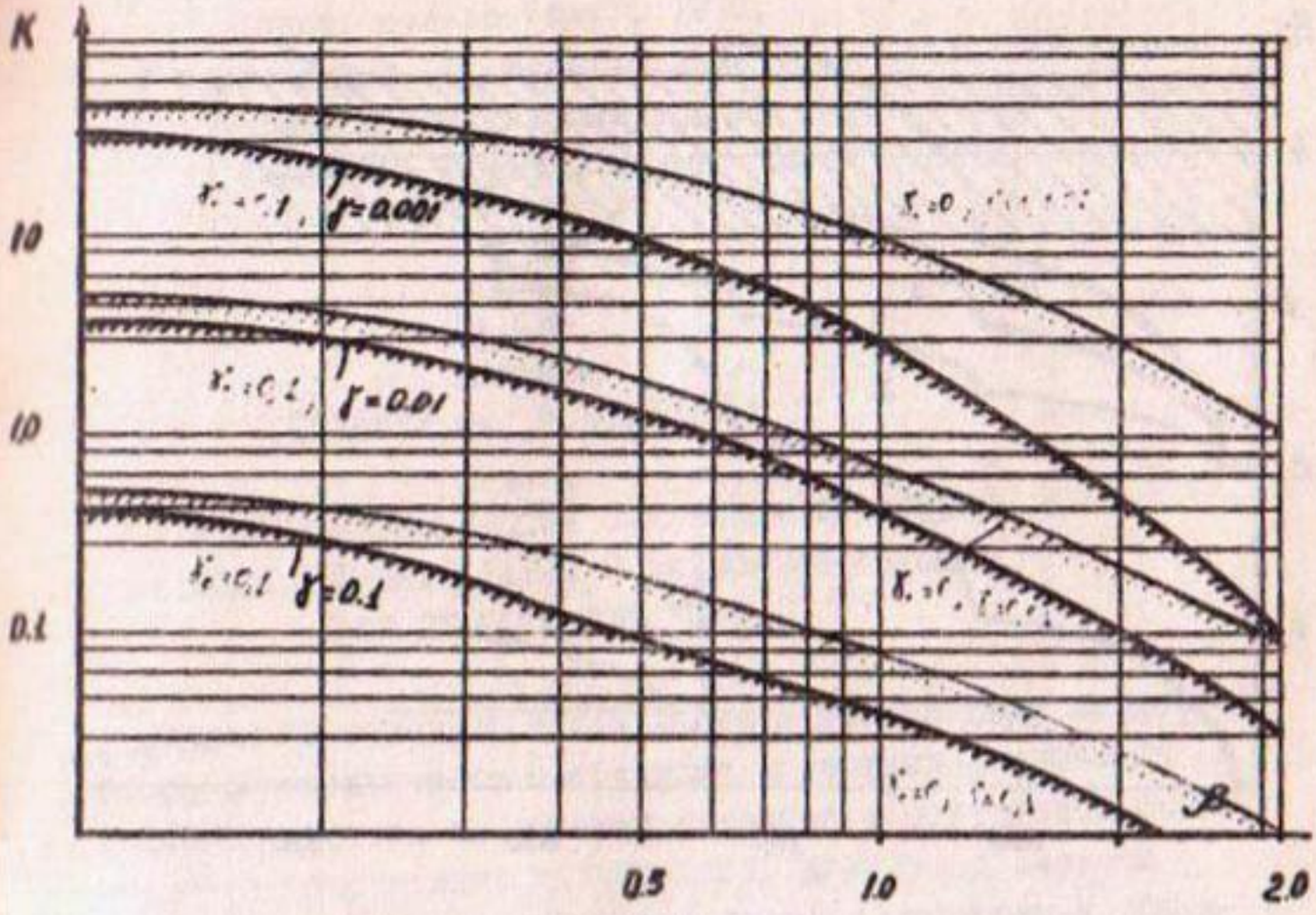


Рис. 4. Область устойчивости САР.

$$Q(t)=\sum_{i=1}^{n}\left[K_1\left(1-e^{-\frac{t-\bar{t}_1-t_i}{T_1}}\right)+\frac{T_2}{T_1}\,e^{-\frac{t-\bar{t}_1-t_i}{T_1}}\right]\frac{\gamma_i N_M}{X_2}\cdot K_{uy}\cdot\gamma_i ;$$

где

t – текущее время;

$\bar{t}_1$ – запаздывание в объекте;

t_i – время начала i – го импульса;

N – количество импульсов.

Количество импульсов определяется из условия

$$|Q_3(t)-Q_i(t)|\leq \xi, \qquad (14)$$

ξ – ошибка регулирования.

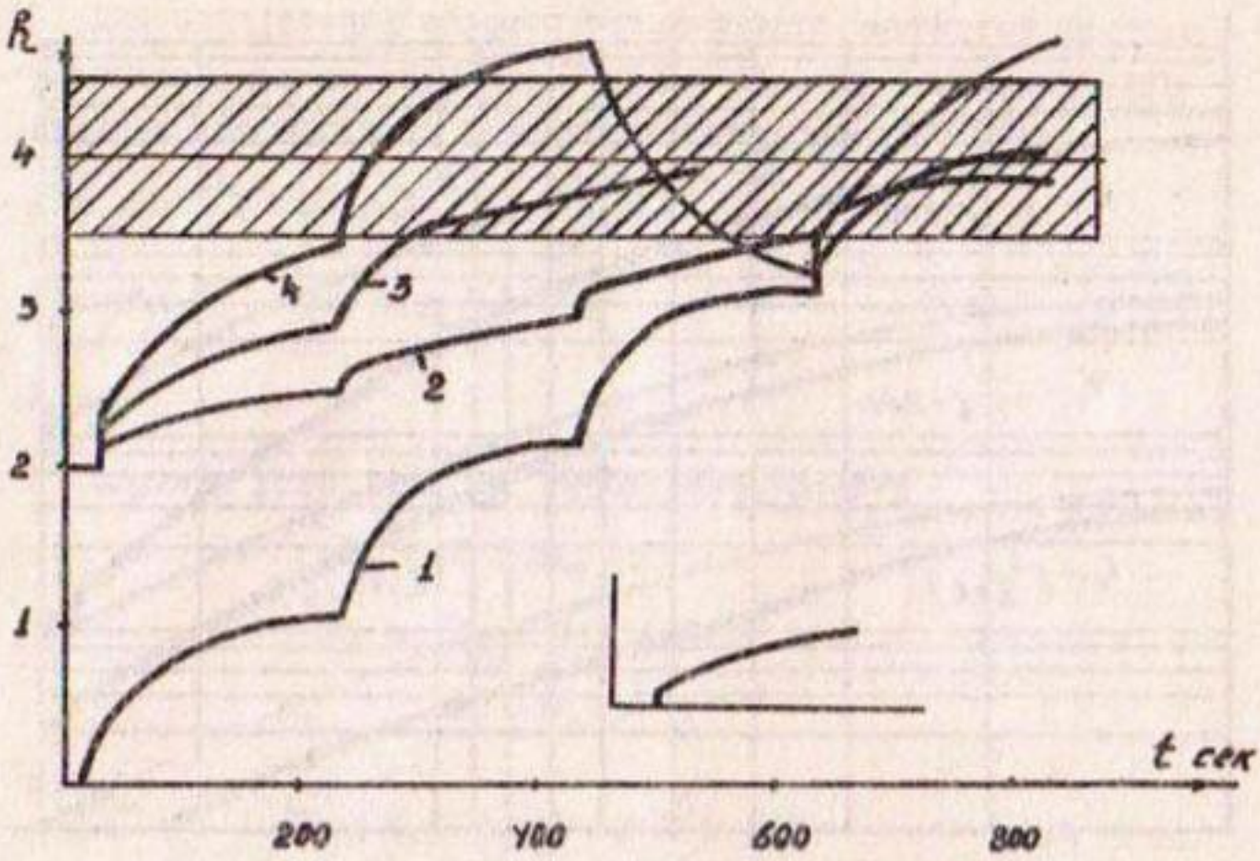


Рис. 5. Кривые переходных процессов САР.

Кривые переходных процессов приведены на рис. 5. Расчеты сделаны при следующих параметрах канала: B = 6 м; b = 3 м; H = 2 м; h_1 = 1,22 м; S_1 = 0,82 м; J = 0,0008; Q = 1,45 м^3/с; a = 0,55 м.

По методике, примененной в этой работе, была определена область устойчивости САР уровня воды нижнего бьефа водовыпуска Хачкоб канала Шахруд Бухарской области.

Снятые экспериментальные кривые переходного процесса при различных параметрах регулятора подтверждают правильность теоретических результатов для инженерных расчетов.

Литература

1. Цыпкин Я.З. Теория линейных импульсных систем, М., Физматгиз, 1963.

2. Маковский Э.Э. Автоматизация ГТС в системах каскадного регулирования. Фрунзе, изд-во "Илим" 1972.

3. К а д ы р о в А.А. Графы и дискретные системы. Ташкент, изд-во "Фан", 1976.
4. Т ю м е н е в Р. Исследование импульсной САР уровня воды в сб. "Автоматизация гидромелиоративных систем". Фрунзе, изд-во "Илим", 1972.

Р. СИМ
инженер
(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ УРОВНЯ ВОДЫ ВЕРХНЕГО БЬЕФА С ЗАТВОРАМИ-АВТОМАТАМИ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

Одной из основных задач расчета уровня воды верхнего бьефа водоподпорного сооружения затворами-автоматами прямого действия на каналах открытой оросительной сети является обеспечение устойчивости замкнутой системы стабилизации. Ввиду того, что затворы-автоматы и объекты регулирования обладают нелинейными характеристиками и их параметры в эксплуатационных условиях изменяются в широком диапазоне /I, 2, 3/, практический интерес представляет выявление влияния их на устойчивость процесса стабилизации.

Приведем пример исследования устойчивости без учета сухого трения в затворах-автоматах при свободном истечении воды из щитового отверстия, а также в предположении, что подводящий канал имеет значительную протяженность (длинный бьеф).

Пусть затвор-автомат выведен из состояния равновесия и предоставлен самому себе. Тогда относительное отклонение глубины наполнения при неустановившемся движении в створе, непосредственно примыкающем к водоподпорному сооружению, может быть выражено системой дифференциальных уравнений затвора-автомата /2/ и объекта /I/ в виде:

$$\left.\begin{aligned} T_1^2\frac{d^2\psi}{dt^2}+T_2\frac{d\psi}{dt}+K_c\psi=\mu \\ T_3\frac{d\mu}{dt}+K_a\mu=-\psi-T_4\frac{d\psi}{dt} \end{aligned}\right\} \qquad (I)$$

Здесь

ψ – относительное отклонение высоты открытия затвора;

μ – относительное отклонение глубины наполнения;

T_1^2, T_2, K_c – параметры затвора-автомата;

T_3, T_4, K_a – параметры объекта.

Характеристическое уравнение замкнутой системы, полученное решением (I) относительно переменных ψ или μ имеет вид

$$T_1^2T_3p^3+(T_1^2K_a+T_2T_3)p^2+(T_2K_a+T_3K_c+T_4)p+(K_c-K_a+1)=0 \qquad (2)$$

где

$p=\frac{d}{dt}$ – оператор дифференцирования.

Запишем условия устойчивости, используя критерии Гурвица /4/:

$$K_c\cdot K_a+1>0,$$

$$(T_2T_3+T^2\cdot K_a)(T_2\cdot K_a+T_3\cdot K_c+T_4)-(K_c\cdot K_a+1)T_1^2T_3>0 \qquad (3)$$

Построим границу области устойчивости в плоскости параметров (K_a, K_c). Заменив в условиях (3) знаки неравенства знаками равенства, получим уравнения кривых границы устойчивости:

$$K_c\cdot K_a+1=0, \qquad (4)$$

$$(T_2\cdot T_3+T_1^2K_a)(T_2\cdot K_a+T_3K_c+T_4)-(K_c\cdot K_a+1)T_1^2\cdot T_3=0 \qquad (5)$$

Область устойчивости, построенная по уравнениям(4) и (5) для $K_a > 0$, приведена на рис. 1 (штрих).

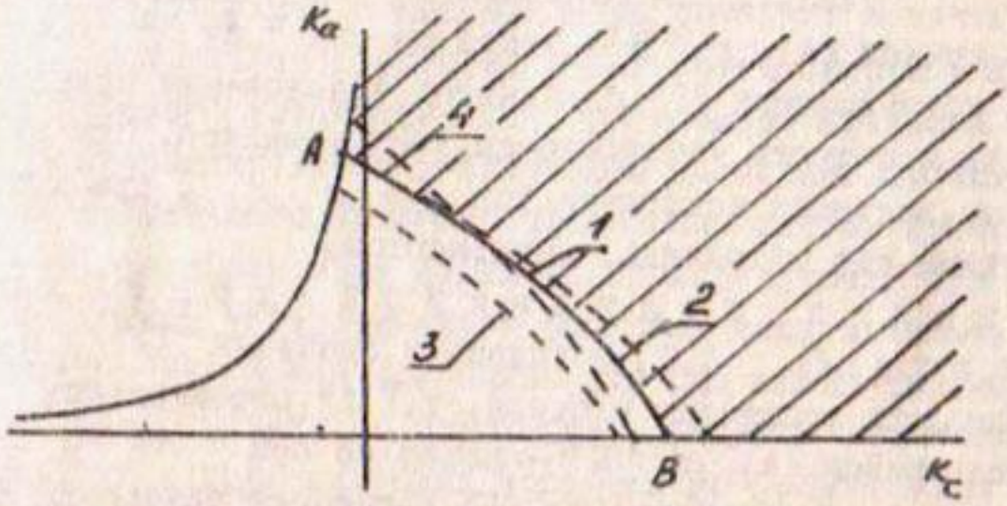


Рис. I. Область устойчивости системы стабилизации верхнего бьефа с затвором-автоматом прямого действия.

Для исследования устойчивости достаточно рассмотреть изменение положения кривой (5) (см. рис. I, кривая I) в зависимости от изменения параметров T_1^2 , T_2 , T_3 и T_4 . Для этого определим точки пересечения кривых (4) и (5), а также кривой (5) с осью " K_C " и рассмотрим перемещение этих точек в зависимости от изменения параметров.

Кривые (4) и (5) пересекаются в т. А с координатами

$$K_a = \frac{-T_4 + \sqrt{T_4^2 + 4T_2 \cdot T_3}}{2T_2}, \quad K_C = \frac{-T_4 - \sqrt{T_4^2 + 4T_2 T_3}}{2T_3}$$

Кривая (5) пересекается с осью " K_C " в т."В"с координатами

$$K_a = 0; \quad K_C = \frac{T_1^2}{T_2 T_3} - \frac{T_4}{T_3}$$

Влияние постоянной времени затвора-автомата T_1^2 . С увеличением значения T_1 , т.е. инерционности конструкции, т."В" перемещается вправо по оси " K_C "; участок границы

устойчивости (5) переходит в положение кривой 2 (рис.I), и область устойчивости уменьшается.

Влияние постоянной времени демпфирования затвора-автомата T_2. С увеличением значения T_2 т."А" перемещается вниз по кривой (4), т."В"- влево по оси "K_c"; участок границы устойчивости (5) сдвигается в положение кривой 3 (рис. I), и область устойчивости увеличивается. При этом граничные значения коэффициентов K_a и K_c, при которых система еще устойчива, уменьшаются.

Влияние постоянной времени объекта T_3. С увеличением значения T_3, т.е. инерционности процессов в бьефе, т." А" перемещается вверх пр кривой (4), т."В" - влево по оси "K_c"; участок границы устойчивости (5) принимает положение кривой 4 (рис. I). Граничное значение коэффициента K_a увеличивается, K_c - уменьшается.

Влияние постоянной времени объекта T_4. С увеличением значения T_4, т."А" перемещается вниз по кривой (4), а т. "В" - влево по оси "K_c", т.е. влияние данного параметра аналогично влиянию T_2.

Система стабилизации из устойчивой зоны в неустойчивую может переходить как на участке границы (4), так и (5). Если система находится на участке границы (4), то решение характеристического уравнения имеет нулевой корень, что соответствует апериодической границе устойчивости /4/. При приближении системы к этому участку могут возникнуть колебания отметки уровня воды в бьефе с большой амплитудой, но малой частотой, а также опрокидывание или выскакивание затвора-автомата из потока воды. Участок границы (5) является колебательной границей устойчивости, так как решение характеристического уравнения имеет пару чисто мнимых корней. При приближении системы стабилизации к этому участку в бьефе могут возникнуть длительные, а также незатухающие колебания отметки уровня воды, близкие к гармоническим.

С целью проверки полученных теоретических выводов о существовании областей с разными переходными процессами, были проведены экспериментальные исследования на действующей модели системы стабилизации с затвором-автоматом конструкции с поплавком на обшивке. В качестве объекта был выбран трапецеидальный лоток длиной 3 м, в конце которого установлен затвор-автомат. Методика исследования заключалась в получении экспериментальных кривых переходного процесса отклонения глубин наполнения в бьефе после возмущения на затвор-автомат при разных начальных установившихся расходах воды в лотке.

Полученные кривые показали, что при малых расходах воды в бьефе возникают переходные процессы с длительными и близкими к гармоническим колебаниями уровня воды (рис. 2, кривая а), которые объясняются приближением системы

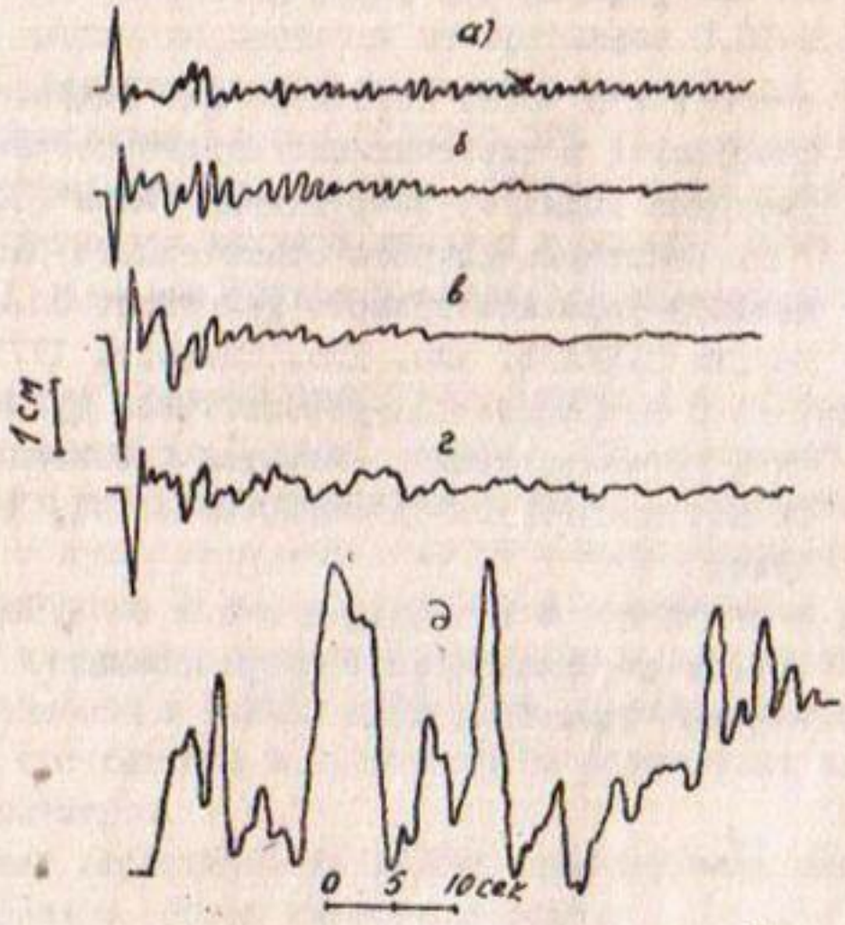


Рис. 2. Переходные процессы колебания уровня воды в системе стабилизации верхнего бьефа с затвором-автоматом конструкции с поплавком на обшивке при разных начальных установившихся расходах : а - =8,5; б - =10,5; в - = 14,0; г - 23,0; д - 23,0 л/сек.

отабилизации к колебательной границе устойчивости, ввиду уменьшения значений параметра объекта K_a . С увеличением расхода система удаляется от колебательной границы (рис.2, кривые б, в, г) и в дальнейшем приближается к апериодической границе устойчивости (рис. 2, кривая д) из-за увеличения значений K_a, а также уменьшения K_c .

Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволяют произвести выбор параметров затворов-автоматов прямого действия, обеспечивающих устойчивость и заданные переходные процессы при стабилизации уровня воды верхнего бьефа водоподпорного сооружения на каналах открытой оросительной сети во всем диапазоне изменения параметров объекта регулирования при свободном истечении воды из щитового отверстия и длинном бьефе.

Литература

I. Маковский Э.Э. Автоматизация гидротехнических сооружений в системах каскадного регулирования расходов воды, Фрунзе, изд-во "Илим", 1972.

2. Сим Р. Некоторые вопросы статического расчета затвора-автомата прямого действия. Сб.научных трудов САНИИРИ, вып. 136, Ташкент, 1973.

3. Сим Р. О коэффициентах передаточной функции объекта регулирования в открытой оросительной сети. Сб.научных трудов САНИИРИ, вып. 141, Ташкент, 1974.

4. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. Ташкент, изд-во "Наука", 1971.

П.Н. ПАК
канд.техн.наук
В.С.БЕЗУКЛАДНИКОВ
инженер
(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

ТЕХНИЧЕСКОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ НАПРАВЛЯЮЩИХ ПОДШИПНИКОВ КРУПНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ НАСОСОВ

Выпускаемые отечественной промышленностью крупные осевые и центробежные насосы вертикального исполнения, как правило, оборудованы направляющими подшипниками гидродинамического трения на водяной смазке с резиновыми или лигнофолевыми вкладышами. К содержанию твердых частиц в технической воде для смазки направляющих подшипников крупных вертикальных насосов предъявляются повышенные требования, так как толщина смазочной пленки по расчетам не превышает 0,01-0,015 мм.

В насосах, перекачивающих достаточно чистую воду с концентрацией взвешенных частиц 0,002-0,02% /3/, подшипники смазывают перекачиваемой водой с отбором ее из напорного трубопровода даже при наличии твердых взвесей (небольшой концентрации) размером больше минимальной толщины смазочной пленки.

В условиях рек Средней Азии, вода которых в отдельные периоды года содержит до 5 кг/м^3 наносов /I/, применяется схема технического водоснабжения подшипников с горизонтальными отстойниками с принудительной подачей осветленной воды вспомогательным насосом. В перекачиваемой и осветленной воде наносы состоят из частиц различных размеров и твердости. Состав твердых взвесей в осветленной воде зависит от эффективности работы отстойников и правильности назначения их геометрических размеров.

Нами изучены эффективность работы существующих систем техводоснабжения и состав наносов в воде.

Осредненное количество наносов в пробах осветленной воды по Кукмазарской насосной станции составило 0,052 кг/м^3; Хамзинской № I - 0,I92; Алатской - 0,I24 /2/.

На всех указанных насосных станциях смазочная вода по концентрации взвешенных частиц (0,04–0,05 кг/м^3) значительно превосходит предельные нормы содержания в смазочной воде взвешенных частиц глинистого происхождения /4,5,6,7/.

На интенсивность износа пар трения и узлов проточной части гидромашин влияет не только общее содержание твердых взвесей, но и твердость и форма частиц. Результаты минерало-петрографического анализа взятых нами проб осветленной воды, проведенного лабораторией отдела геологии САОГидропроекта им. С.Я.Жука, показали, что частиц твердостью (по шкале Мооса) от 5 и более ("опасных" для стали) находится около 50%, а от 4 и более ("опасных" для резины и лигнофоля) – около 58%. Твердые взвеси, наиболее "опасные" для подшипниковых пар размером 0,01 мм и более, составляют около 30%. Во всех фракциях наносов частицы имели угловатую форму. Отсюда вытекают причины быстрого износа подшипниковых пар насосов, эксплуатируемых в условиях рек Средней Азии.

Конструктивное исполнение насосов ОП10-260 (Каршинский каскад насосных станций) мало отличается от эксплуатируемых в условиях Амубухарского машинного канала насосов типоразмера ОП10-1858 и ОП11-1939, а подшипниковые узлы имеют одинаковую конструкцию.

Схема техводоснабжения подшипниковых узлов практически всех крупных насосных станций Средней Азии принята однотипной (рис. 1), так как для смазки используется осветленная в отстойниках вода и подается она в подшипники вспомогательным насосом.

В 1976–1977 гг. нами изучена работа систем техводоснабжения подшипников насосов Каршинского каскада насосных станций.

Перекачиваемая вода самотеком из верхнего бьефа (напорный бассейн) поступает в горизонтальный отстойник, откуда уже осветленная вода подается в трубопровод, проходящий по насосной станции. К нему присоединены всасывающие трубы рабочего и резервного насосов техводоснабжения. Эти насосы подают осветленную воду по общестанционной магистрали

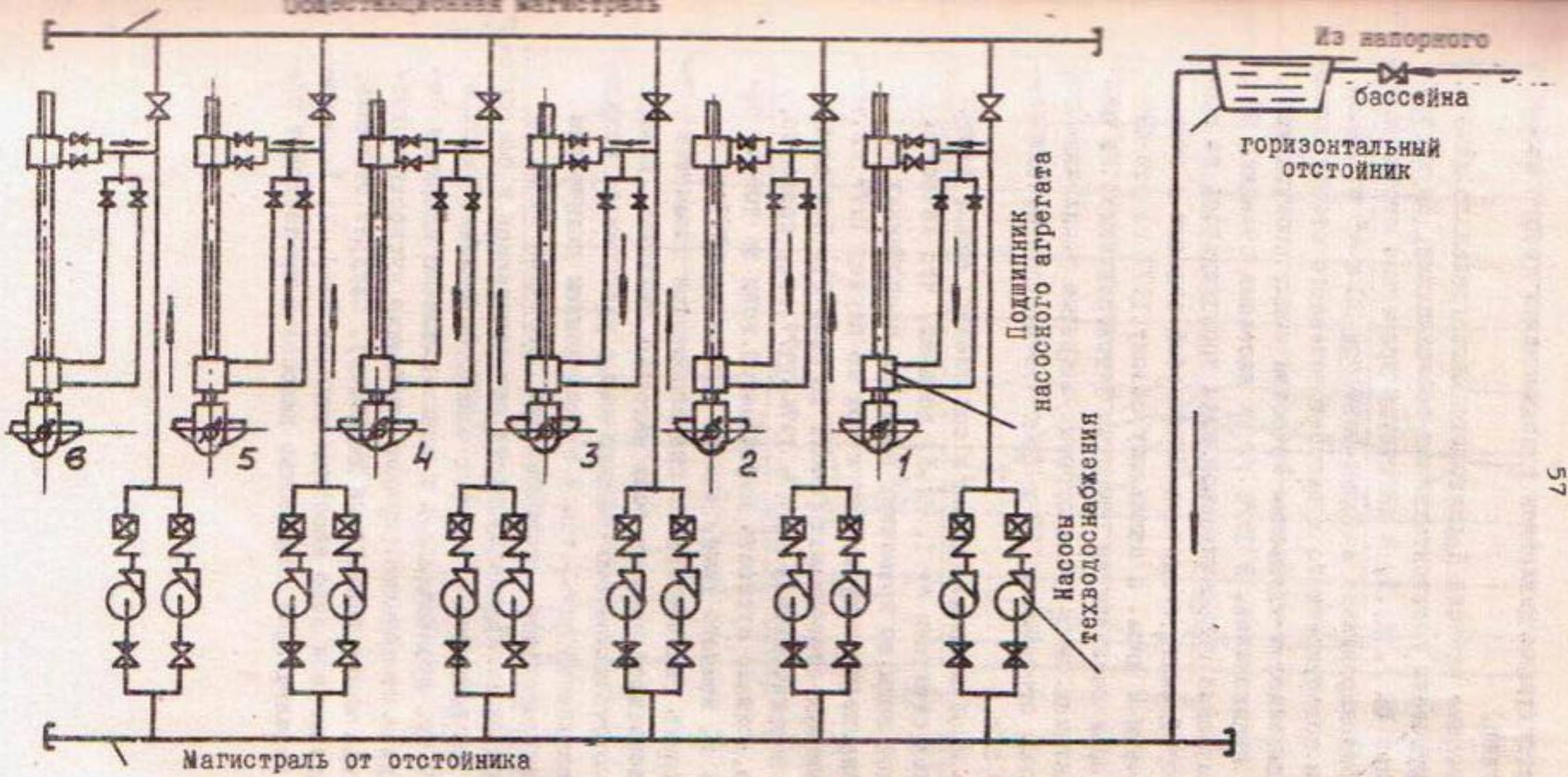


Рис.I.Схема техводоснабжения насосной станции № 4 Каршинского магистрального канала.

под соответствующим давлением к подшипникам любого насосного агрегата.

Все насосные станции Каршинского магистрального канала (КМК) оборудованы горизонтальными отстойниками. На насосных станциях №№ I, 2, 3, 4 действуют временные отстойники - открытые бетонированные водоемы размером 80 х 45 м. Здесь отсутствие поверхностного и рассредоточенного отбора осветленной воды ведет к ухудшению качества воды, поступающей на смазку подшипников. В 1976 г. на насосных станциях №№ I 2 и 3 осветление перекачиваемой воды производилось во временных отстойниках, представляющих собой водоемы с земляными откосами и дном. К поливному сезону 1977 г. эти отстойники были заменены на открытые бетонированные. На насосных станциях №№ 5 и 6 построены закрытые секционные горизонтальные отстойники (57 х 18 х 4,5 м), обеспечивающие расход 20 л/с.

Анализ проб перекачиваемой и осветленной воды, взятых на насосных станциях №№ I, 2, 3, показал, что качество осветленной воды во временных земляных отстойниках в 1976 г. значительно хуже, чем в тот же период 1977 г. в бетонированных отстойниках (табл. I, рис. 2). Как видно, мутность перекачиваемой воды в 1976-1977 гг., примерно, одинакова, однако мутность осветленной воды за тот же период 1976 г. намного выше, чем по данным за 1977 г.

Необходимо также отметить скачкообразное повышение мутности осветленной воды на всех насосных станциях, имеющих открытые отстойники. Это связано как с увеличением мутности перекачиваемой воды, так и с увеличением количества работающих агрегатов - потребителей смазочной воды. На рис. 3 приведены кривые мутности перекачиваемой и осветленной воды на насосной станции № 4 КМК. Осветление здесь в 1976-1977 гг. производилось в одном и том же открытом бетонированном отстойнике (кривые изменения мутности осветленной воды имеют одинаковый характер). Следует отметить, что в осветленной воде насосных станций №№ I, 2, 3, 4 находится значительное количество наносов и превосходит пре-

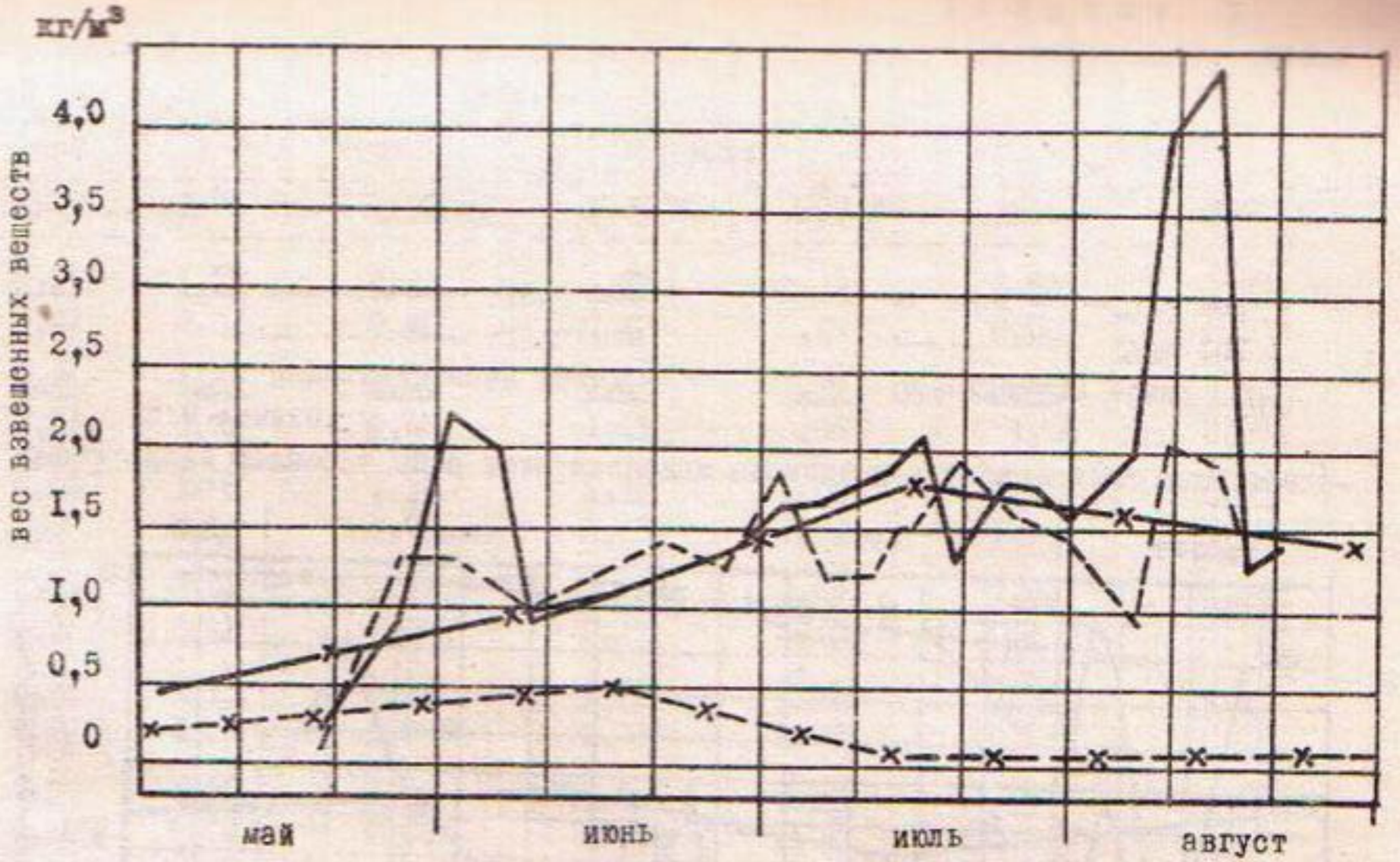


Рис.2.Общая мутность проб воды.Насосная станция № 2 Каршинского магистрального канала.

Перекачиваемая вода:
———————-I976г.
———×———-I977г.

Осветленная вода:
— — — — — —-I976г.
— —×— —×— —-I977г.

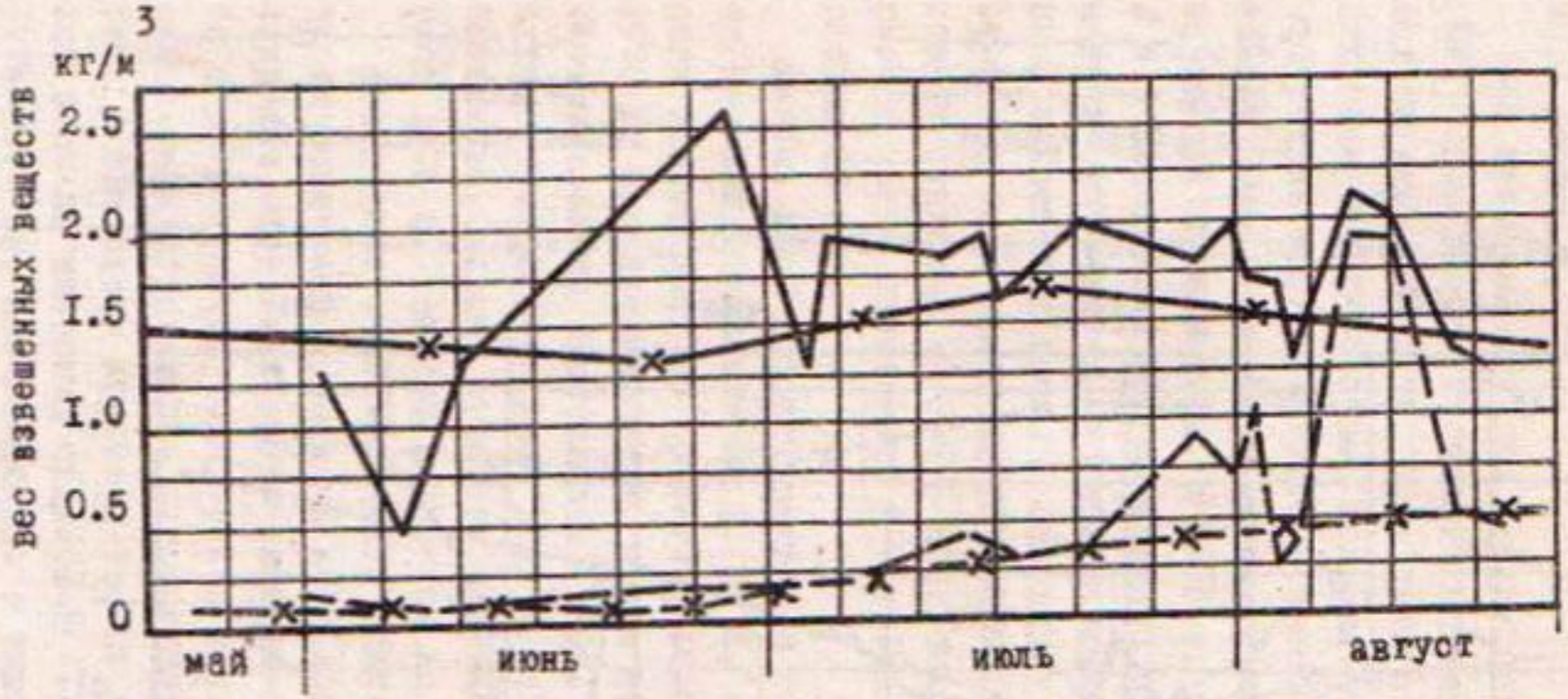


Рис.3.Общая мутность проб воды.Насосная станция № 4 Каршинского магистрального канала.

Перекачиваемая вода:
———— -1976 год
——x—— -1977 год

Осветленная вода:
-------- 1976 год
— —x— —1977 год

Таблица I

Общая мутность перекачиваемой и осветленной воды Карминского магистрального канала (кг/м^3)

Насосная станция	май		июнь		июль		август	
	1977 г.	1976 г.	1977 г.	1976 г.	1977 г.	1976 г.	1977 г.	
НС-I	0,54	I,39	I,24	I,7I	2,I3	I,68	I,73	
	0,02	0,I2	0,40	0,I2	0,I9	0,06	0,3I	
НС-2	0,46	I,27	I,08	I,64	I,79	2,43	I,42	
	0,23	I,05	0,48	I,69	0,06	I,50	0,07	
НС-3	0,63	I,02	I,30	I,49	I,80	I,82	I,I5	
	0,60	0,22	0,75	0,25	I,7I	I,26	I,02	
НС-4	I,5I	I,I2	I,32	I,79	I,69	I,62	I,34	
	0,I0	0,I8	0,04	0,4I	0,30	0,90	0,52	
НС-5	0,94	I,45	I,20	I,39	I,69	I,86	I,32	
	0,02	0,04	0,004	0,03	0,02	0,02	0,02	
НС-6	0,50	I,57	I,46	I,48	I,67	I,67	I,39	
	0,02	0,02	0,0I	0,02	0,06	0,02	0,02	

дельные нормы, установленные техническими условиями для подшипников насосов типа ОПІО-260 и ОПІІ-260 /4/.

На насосных станциях №№ 5 и 6 построены постоянные закрытые 2-х и 3-х секционные отстойники. Очистка воды в них происходит значительно эффективнее, чем в открытых. На рис. 4 приведены кривые мутности осветленной и перекачиваемой воды на насосной станции № 5. Мутность перекачиваемой воды в 1976-1977 гг. остается практически одинаковой. Мутность осветленной воды очень низкая - кривые приближаются к нулю. Не наблюдается и резкого повышения мутности осветленной воды, которое связано с повышением мутности перекачиваемой воды и увеличением числа работающих агрегатов (в 1976 г. на НС-5 работали 4 агрегата, а в 1977 г. 5 агрегатов одновременно). Качество осветления воды в закрытых отстойниках полностью отвечает требованиям, предъявляемым к воде для смазки подшипников крупных насосов. На износ трущихся пар и элементов проточной части насосов, кроме общей мутности воды, в значительной степени влияет, как указывалось выше, минерало-петрографический состав наносов и окатанность минералов, содержащихся в них. В табл. 2 приведены данные о количественном соотношении минералов и пород "опасной" твердости (для стали и лигнофоля) с размерами от 0,01 мм и выше в перекачиваемой и осветленной воде насосных станций КМК. Количество частиц с твердостью "опасной" для лигнофоля в осветленной воде содержится в среднем 48-57%, а с твердостью "опасной" для стали 44-52%. Все частицы с размерами от 0,01 мм и выше имеют угловатую форму с острыми гранями.

Анализ проб перекачиваемой и осветленной воды насосных станций Амубухарского машинного и Каршинского магистрального каналов, эксплуатируемых в условиях бассейна р.Амударьи, позволяет сделать следующие выводы.

1. В горизонтальных закрытых отстойниках с периодической промывкой отложившихся наносов (опыт КМК) можно получить осветленную воду с содержанием твердых частиц в среднем до 0,02 кг/м^3 (0,002%), т.е. практически чистую воду.

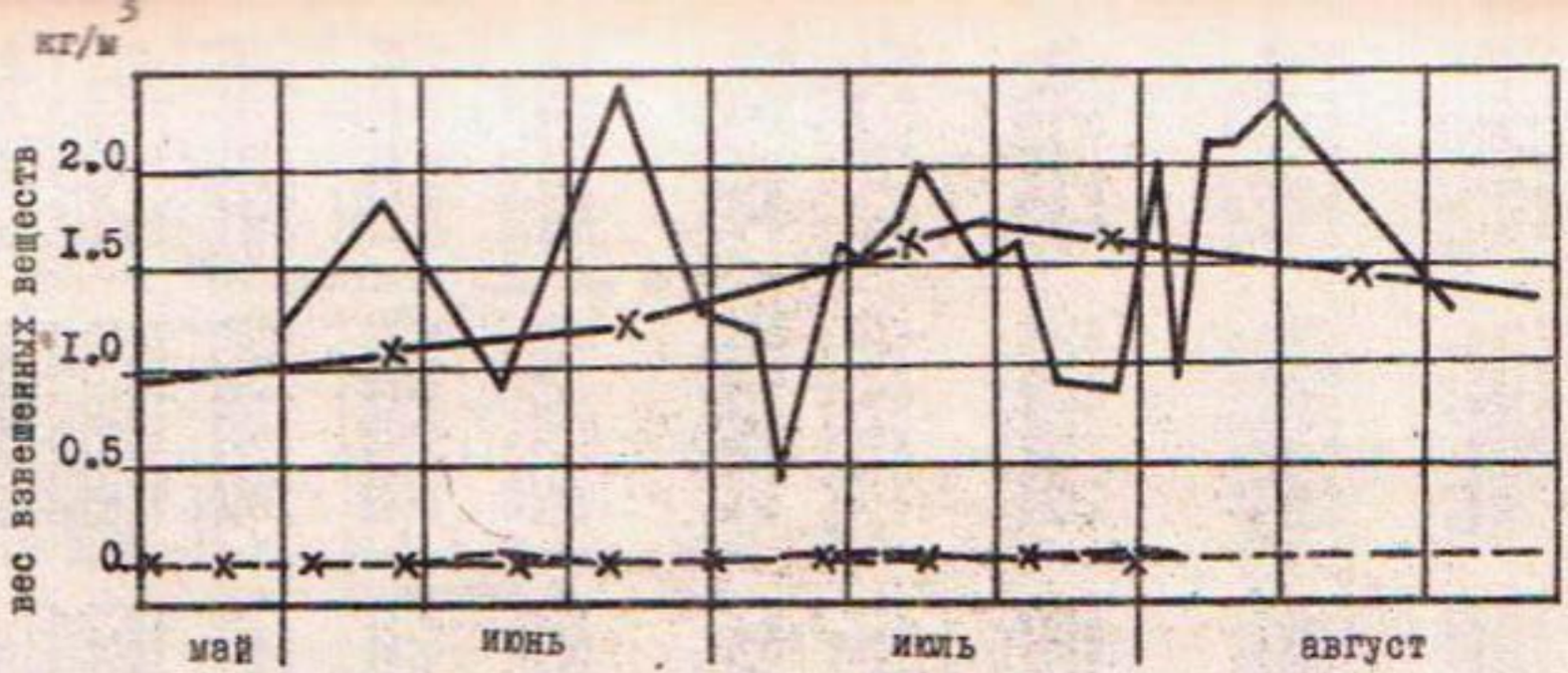


Рис.4.Общая мутность проб воды.Нососная станция № 5 Каршинский магистральный канал.

Перекачиваемая вода:
———— -1976 год
——×—— -1977 год

Осветленная вода:
— — — — —1976 год
— —×— —×— -1977 год

Таблица 2

Количественное соотношение минералов и пород в перекачиваемой (проба I) и осветленной воде (проба 2), осредненное по месяцам 1976 г.

Месяц	Номер пробы	Размеры фракций, мм	Кварц тв.7	Полевые шпаты тв. 6	Темноцветные тв. 5-6	Рудные тв.I-4	Обломки пород тв. 6	Суммарное количество частиц		
								опасные для вкл. подшипн. тв. ≥ 4	опасные для стальн. деталей тв. ≥ 5	остальные частицы тв. до 4
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
				Насосная станция № I						
июнь	I	0,I-0,0I	32,7	II,I	0,6	2,6	5,I	52,I	49,5	47,9
	2	0,I-0,0I	32,7	I0,3	0,5	3,2	5,4	52,I	48,9	47,9
июль	I	0,I-0,0I	33,4	I4,2	2,0	3,3	5,4	58,3	55,0	4I,7
	2	0,I-0,0I	27,8	II,9	2,0	3,3	4,2	49,2	45,9	50,8
август	I	0,I-0,0I	3I,I	I4,0	3,0	3,0	5,4	56,5	53,5	43,5
	2	0,I-0,0I	26,.	I2,6	2,6	2,9	4,5	48,7	45,8	5I,3
				Насосная станция № 2						
июнь	I	0,I-0,0I	40,7	I4,9	I,2	4,6	6,3	67,7	63,I	32,3
	2	0,I-0,0I	37,5	I4,I	0,7	4,8	6,0	63,I	58,3	36,9
июль	I	0,I-0,0I	33,4	I3,6	2,I	4,0	4,3	57,4	53,4	42,6
	2	0,I-0,0I	32,5	I3,6	2,7	3,9	4,8	57,5	53,6	42,5
август	I	0,I-0,0I	30,8	II,0	3,4	3,7	4,6	53,5	49,8	46,5
	2	0,I-0,0I	29,9	I2,4	2,7	3,0	3,9	5I,9	48,9	48,I
				Насосная станция № 3						
июнь	I	0,I-0,0I	3I,2	II,7	I,0	3,9	5,8	53,6	49,7	46,4
	2	0,I-0,0I	32,8	II,8	I,3	4,3	7,0	57,2	52,9	42,8
июль	I	0,I-0,0I	3I,3	I2,4	I,6	3,7	4,I	53,I	49,4	46,9
	2	0,I-0,0I	30,0	II,5	2,0	3,5	4,0	5I,0	47,5	49,0
август	I	0,I-0,0I	3I,4	I2,6	3,0	2,0	3,9	52,9	50,9	47,I
	2	0,I-0,0I	26,9	I0,9	2,5	2,9	3,5	46,7	43,8	53,3

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Насосная станция № 4										
июнь	I	0,I-0,0I	32,3	II,9	I,4	4,6	6,8	57,0	52,4	43,0
	2	0,I-0,0I	27,2	I0,3	I,3	3,6	5,2	47,6	44,0	52,4
июль	I	0,I-0,0I	32,6	I5,0	2,2	3,2	3,6	56,6	53,4	43,4
	2	0,I-0,0I	26,7	I3,3	2,3	3,3	3,3	48,9	45,6	5I,I
август	I	0,I-0,0I	30,I	I3,2	2,7	3,4	4,0	53,4	50,0	46,6
	2	0,I-0,0I	26,4	I0,7	2,2	2,6	4,4	46,3	43,7	53,7
Насосная станция № 5										
июнь	I	0,I-0,0I	32,3	I0,9	0,5	3,3	9,0	56,0	52,7	44,0
	2	0,I-0,0I	33,3	I2,8	0,6	4,5	5,8	58,0	52,5	42,0
июль	I	0,I-0,0I	27,7	I2,2	I,9	5,I	5,3	52,2	47,I	47,8
	2	0,I-0,0I	28,I	I3,I	I,9	3,4	4,8	5I,3	47,9	48,?
август	I	0,I-0,0I	30,3	I2,0	3,2	3,6	4,3	53,4	49,8	46,6
	2	0,I-0,0I	29,9	I3,5	3,I	4,0	5,9	56,4	52,4	43,6
Насосная станция № 6										
июнь	I	0,I-0,0I	[illegible]6	9,9	0,6	3,4	4,8	46,3	42,9	53,7
	2	0,I-0,0I	30,I	II,7	0,7	3,6	5,I	5I,2	47,6	48,8
июль	I	0,I-0,0I	3I,I	I3,0	I,9	2,9	4,0	52,9	50,0	47,I
	2	0,I-0,0I	32,2	I3,6	I,9	3,I	4,2	55,I	52,0	44,9
август	I	0,I-0,0I	29,4	II,6	2,4	2,7	3,5	49,6	46,9	50,4
	2	0,I-0,0I	32,8	I4,3	2,4	2,6	4,6	56,7	54,I	43,2

2. Количество твердых абразивных частиц, содержащихся в осветленной воде, "опасных" для подшипниковых пар, составляет в среднем 45-55%. Практически все частицы твердостью выше 4 имеют угловатую форму.

Приведенные данные могут быть полезны при проектировании системы техводоснабжения крупных насосных станций в бассейне р. Амударьи и для исследователей, занимающихся гидроабразивным износом пар трения и проточной части насосов.

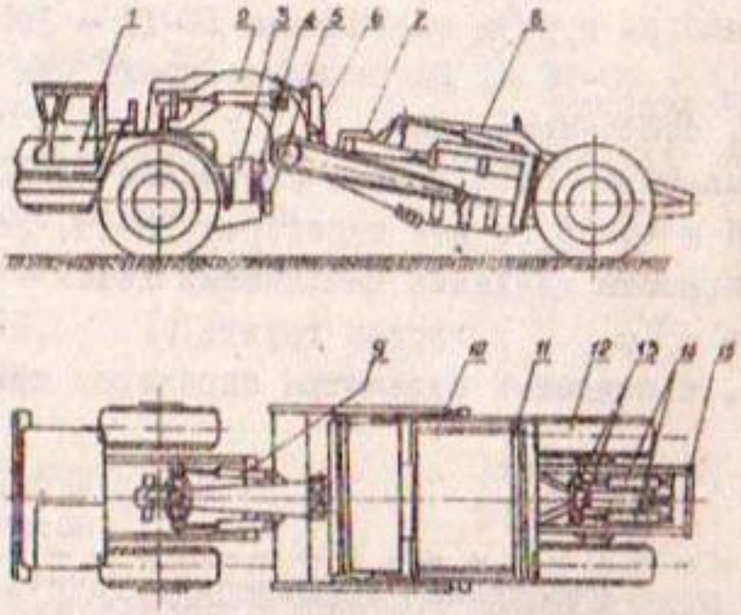
Литература

1. Клюканова И.А. Взвешенные наносы Амударьи и их ирригационное значение, "Наука", М., 1971.
2. Пак П.Н. Изучение работы подшипниковых узлов крупных вертикальных насосов в Среднеазиатских республиках. Труды САНИИРИ, вып. 122, Ташкент, 1970.
3. Яременко О.В. Испытания насосов, "Машиностроение", М., 1976.
4. Агрегаты электронасосные типа ОПВ-2603Г. ТУ26-06-893-74.
5. Агрегаты электронасосные типа ОПВ-1853Г. ТУ26-06-1042-76.
6. Агрегаты электронасосные осевые ОПВ-87; ОПВ-110 ТУ26-06-882-74.
7. Агрегаты электронасосные центробежные вертикальные типа В. ТУ26-06-913-74.

Д.Б. КУРБАНОВ
ст. инженер
(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ САМОХОДНЫХ СКРЕПЕРОВ В УСЛОВИЯХ КАРШИНСКОЙ СТЕПИ

С целью определения эффективности применения на водохозяйственных объектах республики самоходных скреперов ДЗ-II и ДЗ-I3 отделом организации и механизации водохозяйственных работ САНИИРИ были проведены полевые исследования на новых землях в условиях Каршинской степи (рисунок).



Самоходный скрепер ДЗ-I3: I - тягач; 2 - передок скрепера; 3,4,5 - гидросистемы автотягача БелАЗ-53I; 6 - гидроцилиндр подъема ковша; 7 - заслонка; 8 - гидроцилиндр заслонки; 9 - гидроцилиндры поворота автотягача; I0 - ковш; II - задняя стенка; I2 - заднее колесо; I3 - ролики; I4 - гидроцилиндры задней стенки; I5 - буфер.

Разрабатываемые грунты состоят в основном из супеси и суглинков и относятся к П-Ш группе по трудности разработки скреперами /I/.

Во время полевых испытаний самоходных скреперов определялись продолжительность и процесс наполнения ковша, транс-

портирование и выгрузка грунта, а также взаимодействие между скрепером и трактором-толкачом.

Наполнение ковша грунтом происходит при прямолинейном движении скрепера по забою с опущенным ковшом и заглубленными ножами.

При разработке грунтов самоходными скреперами без трактора-толкача (самонабор) толщина срезания составляла 5–10 см, ковш наполнялся незначительно, а с помощью трактора-толкача – на 40–45 см, степень наполнения ковша высокая.

Грунт разрабатывали многорядным способом, при котором следы срезания в плане размещались параллельными полосами с перемычками между ними шириной 1,2–2,0 м. Оставшиеся перемычки срезались последующими проходами.

Длина пути набора грунта скреперами Д3-11 – 105–135 м, скреперами Д3-13 – 40–96 м. Затраченное время при этом 68–105 и 124 с, соответственно.

Толщина отсыпаемого слоя грунта составила 40–50 см для скреперов Д3-13 и 45–55 см для скреперов Д3-11. Усредненные значения скорости движения наполнения ковша – $V_н$ груженного хода – $V_{гр}$, выгрузки грунта $V_в$, порожнего хода $V_{пх}$, и основные параметры скреперов приводятся в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Скреперы	Расстояние перемещения грунта, м							
	до 300				до 400			
	скорость, м/с							
	$V_н$	$V_{гр}$	$V_в$	$V_{пх}$	$V_н$	$V_{гр}$	$V_в$	$V_{пх}$
1. Скрепер Д3-13 заводской № 120	0,75	2,54	1,96	2,26	0,838	3,35	2,24	2,52
заводской № 189	0,695	2,70	2,52	2,65	0,86	1,42	1,61	3,08
2. Скрепер Д3-11	0,69	2,4	2,8	3,02	0,82	1,79	1,33	4,05

Таблица 2

Техническая характеристика самоходных скреперов

Показатели	Скреперы	
	ДЗ-II	ДЗ-I3
Базовый трактор (тягач)	МоАЗ-546П	БелАЗ-531
Максимальная мощность двигателя, л.с.	215	360
Объем ковша, $м^3$		
геометрический	9	I5
с "шапкой"	II	I8
Способ загрузки ковша	силой тяги	тягача
Способ разгрузки ковша	принудительный	
Максимальная глубина резания, мм	300	350
Ширина захвата, мм	2720	2850
Тип привода	гидравлический	
Система управления	гидравлическая	электрическая
Габаритные размеры, мм		
длина с базовой машиной	I0420	I2200
высота	3300	3600
ширина	3245	3400
Масса, кг		
с тягачом	I9000	3I500
с грунтом	37000	57000

Продолжительность рабочего цикла скреперов ДЗ-I3 составляет в среднем 5,45 мин при перемещении грунта на расстояние до 300 м и 6-7,6 мин. на расстояние 350 м у скреперов ДЗ-II составляет в среднем 6,05 мин. при перемещении грунта на расстояние до 400 м.

По данным хронометражных наблюдений техническая производительность скрепера ДЗ-I3 составила I65 $м^3/ч$ при дальности 300 м. С увеличением дальности перемещения грунта она падает, например, при дальности 400 м снизилась на II-37%.

Производительность скрепера ДЗ-II колеблется от 90 до II9 м^3/ч, в среднем 95,2 м^3/ч при дальности 300-350 м.

Сопротивление движению самоходных скреперов при наборе грунта в несколько раз больше, чем при его перемещении, т.е. когда он работает как транспортная машина. "Нагрузка на ведущую ось самоходного скрепера ДЗ-I3 с одноосным тягачом доходит до 66% у порожней машины и до 50% у нагруженной с грунтом" /2/. Поэтому при наполнении ковша скрепера грунтом необходимо дополнительное тяговое усилие, развиваемое трактором-толкачом. Применение толкачей способствует также уменьшению нагрузок, действующих на ходовое оборудование и трансмиссию тягача, увеличивает его межремонтный период.

Высокая эффективность применения толкачей объясняется, в первую очередь, тем, что энергоемкость забора грунта повышается и позволяет снимать стружку большей толщины, а при недостаточной величине тягового усилия наполнение ковша резко снижается и даже прекращается. Тяговое усилие при этом расходуется на перемещение скрепера, на резание и трение грунта в призме волочения. Поэтому оптимально необходимые мощности трактора-толкача для скреперов ДЗ-I3 - I80-250 л.с. для ДЗ-II - I00-I30 л.с.

Исследованиями установлено, что ковш самоходного скрепера ДЗ-I3 и ДЗ-II без трактора-толкача наполняется не более чем на 60%. При этом наблюдаются интенсивное буксование колес, износ покрышек и трансмиссия одноосного тягача.

Стоимость машино-часа скреперных работ при обслуживании одним трактором-толкачом составляет:

при 2-х скреперах в комплекте - 9 руб/ч по ДЗ-II,
16,35 руб/ч по ДЗ-I3;

при 4-х скреперах в комплекте - 7,93 руб/ч по ДЗ-II
и I4,69 руб/ч по ДЗ-I3.

Выводы

I. Основным преимуществом самоходных скреперов перед прицепными является высокая транспортная скорость в груженном и порожнем состоянии.

В рабочем цикле транспортные операции занимают до 72-80% времени. Повышение скорости движения самоходных скреперов порожняком до 40 км/ч, с грузом до 25 км/ч увеличивает производительность в 2-2,5 раза по сравнению с производительностью прицепных скреперов такой же емкости (q = 8-15 м^3).

2. Увеличение числа скреперов до 4 на один толкач позволяет снизить себестоимость машино-часа их работы на II% по ДЗ-I3 и на I2% по ДЗ-II.

3. Самоходные скреперы ДЗ-II и ДЗ-I3 нецелесообразно использовать на землеройных работах без применения тракторов-толкачей. Без дополнительных тяговых усилий с мощностью одного автотягача ковш скрепера заполняется на 40-60% геометрической емкости, в зависимости от разновидности и физико-механического состояния грунта.

Литература

I. Зеленин А.И. Машины для земляных работ, "Машиностроение", М., I975.

2. Сафронов А.И. Новая техника для строительства, "Гидротехническое строительство", № I0, М., I976.

Ф.Ф. БЕГЛОВ
В.А.ЗАХАРЧУК
инженеры
Ю.М.ШАЛАГИН
канд.техн.наук
(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

МЕХАНИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВКИ ТРАСС ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДРЕН И ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

На строительстве водохозяйственных объектов в составе мелиоративных работ особое место занимает создание дренажных систем и открытой оросительной сети, от уровня механизации которых в наибольшей степени зависит себестоимость строительства, а также сроки ввода земель в севооборот.

В зоне орошения при механизации строительства закрытого горизонтального дренажа траншейным, щелевым и бестраншейным способами основные технологические операции (отрывка траншеи или щели, укладка трубчатой линии в круговой обсыпке гравийно-песчаным фильтром, обратная частичная или полная засыпка траншеи или щели грунтом) выполняются одной машиной-дреноукладчиком, которая в большинстве случаев работает по заранее подготовленной трассе.

По тому же принципу (движение головной машины комплекса по спланированной под нивелир поверхности) осуществляется строительство открытых оросительных каналов I-III типоразмера машинами непрерывного действия типа ЭТР-201Б и ЭТР-301 /1/.

Таким образом, при строительстве закрытого горизонтального дренажа и некоторых типоразмеров оросительных каналов выполняется одна свойственная обоим видам работ технологическая операция - подготовка базовой поверхности параллельно проектному дну сооружения. При этом необходимо отметить

что точность и качество подготовки трассы для работы этих машин полностью определяют качество строительства.

Подготовка базовой поверхности так называемого "корыта" для дрен или трасс для каналоочистительных машин в этом случае ведется, в основном, общестроительными машинами - скреперами ДЗ-20, ДЗ-77С, ДЗ-12, бульдозерами ДЗ-17, ДЗ-18 и автогрейдерами Д-557-1, ДЗ-98, ДЗ-1 и др. /2/.

В соответствии с техническими требованиями к качеству поверхности трасс отклонение высот неровностей по высоте не должно превышать ±3 см при высокой требуемой точности выдерживания уклона в пределах 0,0002-0,05 /3/. Общестроительные машины могут обеспечить такую точность только путем многократных проходов при постоянном инструментальном контроле качества. Отсюда большая трудоемкость и низкая производительность, особенно заметная там, где величина срезки достигает 0,3 м и более, протяженность срезки значительна, когда скрепер работает в траншее. В этом случае, заполнив ковш грунтом в начале такого участка, скрепер вынужден ехать на весьма значительное расстояние до места, где можно выйти из "корыта" и произвести отсыпку грунта, затем возвратиться в холостую к месту забора грунта и т.д.

Таким образом, если для производства основных операций водохозяйственных работ разработаны и внедрены в производство высокопроизводительные машины, то вопросы механизации работ по подготовке трасс в существующих технологиях не нашли еще своего решения и являются до настоящего времени "узким местом" в организации водохозяйственных работ.

Проведенные отделом ОиМВР САНИИРИ исследования /4, 5/ позволили сделать вывод, что для выполнения трассоподготовительных работ в технологические комплексы машин для строительства дрен и оросительных каналов необходимо включение специализированной планировочной машины.

На основании составленных САНИИРИ технических требований в ГСКБ по ирригации Главсредазирсовхозстроя был разработан и изготовлен опытный образец машины для планировки трасс.

Экскаватор-планировщик марки ЭП-301 (рис. I) выполнен на базе многоковшового траншейного экскаватора ЭТУ-354 и предназначен для разработки "корыта" шириной 3 м, глубиной 0,75 м за один проход с выдерживанием заданного уклона в грунтах I-III группы.

В конструкции экскаватора заменены рабочий орган и двигатель, а также изменена конструкция ходовой части.

Планировочная машина оборудована фрезерно-скребковым рабочим органом, навешенным на турасный вал экскаватора, и включает в себя фрезы, скребковую цепь и зачистной нож.

Фрезы предназначены для разработки и транспортирования грунта в зону действия скребковой цепи. Левая фреза отличается от правой направлением винтовой поверхности.

Скребковая цепь, являясь копающим и транспортирующим рабочим органом, служит также приводом для вращения фрез.

Зачистной нож предназначен для зачистки планируемой поверхности и подачи осыпавшегося грунта в зону работы транспортирующих органов. Крепление зачистного ножа к раме - шарнирное, что позволяет регулировать положение рожущего органа в вертикальной плоскости для выдерживания поперечного уклона планируемой поверхности.

Разработанный рожущим органом грунт транспортируется по металлическому желобу (лотку) скребковой цепью в приемный бункер транспортера, перемещающего грунт в отвал.

Конструкция этого транспортера оставлена, в основном, без изменений, увеличена лишь его длина. Ведущим является верхний барабан, приводимый во вращение карданной передачей.

Управление подъемом и опусканием складывающейся части транспортера осуществляется тросо-блочной системой с приводом от КПП.

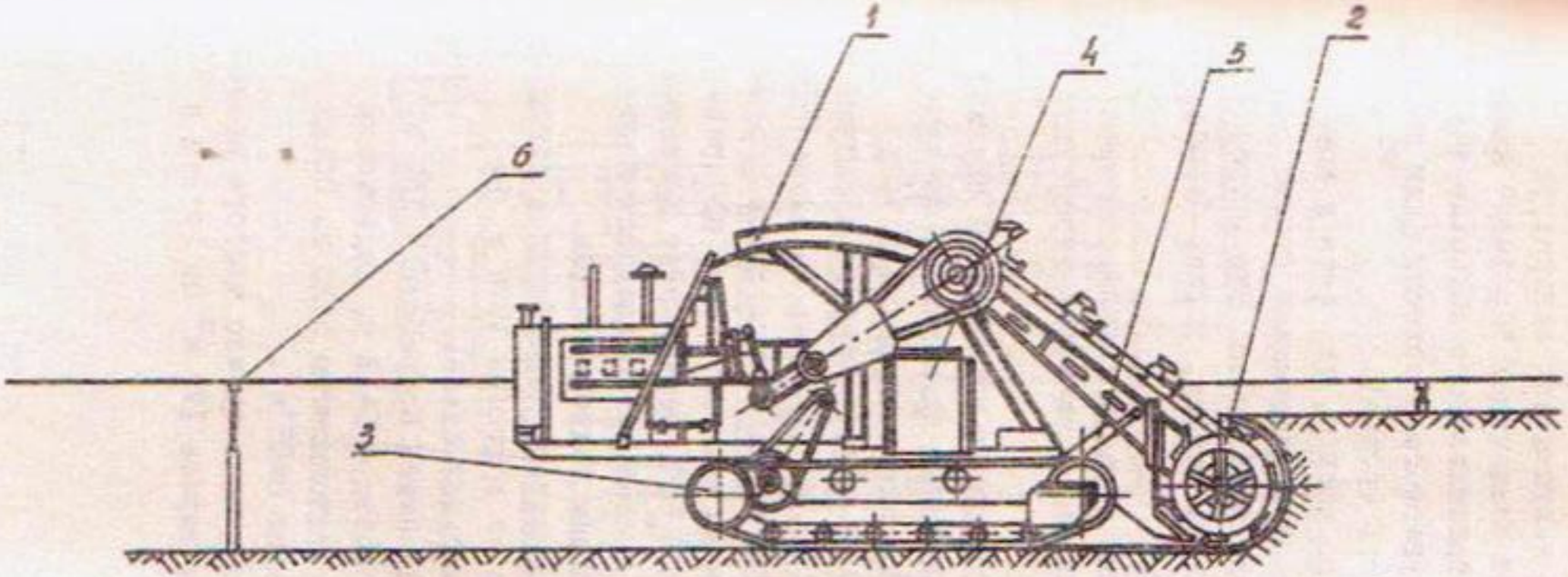


Рис.I.Экскаватор-планировщик ЭП-30I:I-базовая машина; 2-роющий рабочий орган; 3-ходовая часть; 4-транспортер; 5-гидроэлектрическая автоматизированная система управления роющим органом; 6-копирный трос.

Для осуществления автоматического и полуавтоматического управления рабочим органом на экскаватор-планировщик устанавливается серийно выпускаемая аппаратура "Профиль-2". Чувствительными элементами "Профиля" являются щуповой датчик (для автоматического выдерживания заданного уклона) и датчик углового положения (для поперечной стабилизации рабочего органа).

Щуповой датчик работает по копиру, для чего в комплект оборудования экскаватора-планировщика входит устройство для установки копирного троса. Это устройство включает в себя раздвижные стойки, якоря, барабан размотки и натяжную станцию.

Система управления рабочим органом комбинированная и представляет собой гидропривод с электрифицированным управлением (рис. 2).

При обесточенных электромагнитах управляющий плунжер гидроэлектрозолотника удерживается пружинами в среднем положении, открывая тем самым линию управления "б"; при этом в распределителе Р-75-В2 открывается перепускной клапан и основной поток масла движется по линии "а". При подаче напряжения на один из электромагнитов управляющего золотника плунжер перемещается в одно из крайних положений, запирает линию "б", перекрывает движение масла через перепускной клапан распределителя и открывает линию "в" к исполняющим гидроцилиндрам.

Приемочные испытания экскаватора-планировщика трасс ЭП-301 выполнялись с апреля по сентябрь 1976 г. на вновь осваиваемых землях Голодной степи.

За весь период испытаний машина проработала 184 ч, из них чистой непрерывной работы - 64,8 ч, подготовив при этом 8 "корыт" общей протяженностью 3320 м. Объем разработанного грунта составил 8485 м^3.

Максимальная производительность за час чистого времени, достигнутая машиной, составила 177 м^3 по грунту в твердом теле.

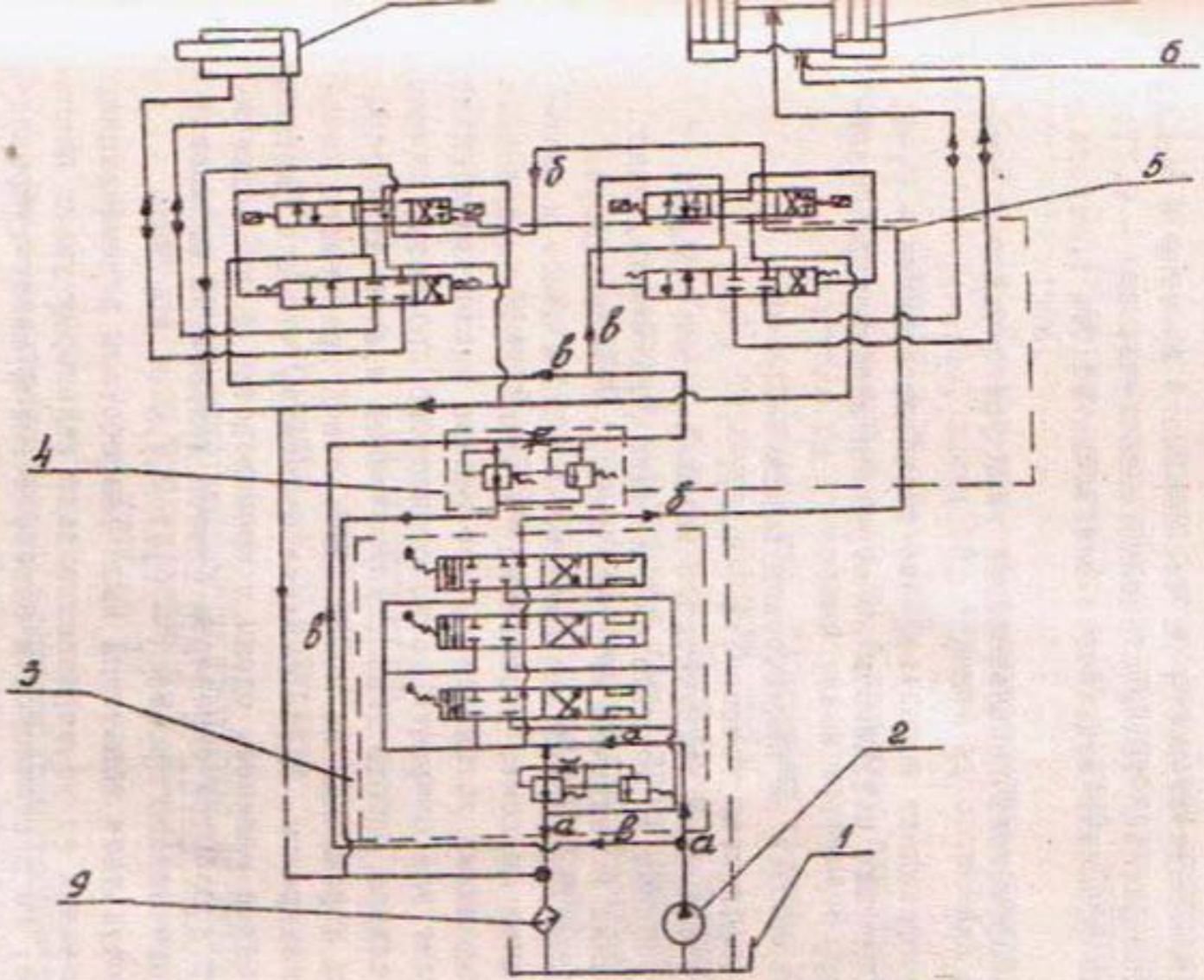


Рис.2.Принципиальная схема гидропривода: 1-бак; 2-насос; 3-распределитель;4-дроссель с регулятором и предохранительным клапаном;5-золотник реверсивный с электрогидравлическим управлением;6-дроссель; 7-гидроцилиндр управления рабочим органом; 8-гидроцилиндр поперечной стабилизации;9-фильтр.

Технико-эксплуатационные показатели работы машины, полученные при испытаниях, следующие:

- производительность за час эксплуатационного времени - 85,5 м^3;
- производительность за час сменного времени - 60,5 м^3;
- коэффициент технологического обслуживания - 0,71;
- коэффициент надежности технологического процесса - 0,98;
- коэффициент использования эксплуатационного времени - 0,65;
- коэффициент использования сменного времени - 0,46;

Показатели надежности конструкции экскаватора-планировщика:

- наработка на технический отказ - 5,4 ч;
- коэффициент готовности - 0,61;
- коэффициент технического использования - 0,57.

Полученные в результате испытаний показатели, ниже заложенных в технические требования, объясняются рядом конструктивных недостатков машины в целом и автоматической системой управления "Профиль-2" в частности.

Испытаниями установлено, что машина удовлетворительно выполняет все операции технологического процесса, однако нестабильная работа гидроэлектрической и автоматической системы управления не позволила достичь требуемого качества планировки. Здесь следует отметить, что все "корыта", выполненные машиной, сданы в производство после незначительной доработки скрепером (время устранения нарушений технологического процесса - 0,17 ч.).

В результате испытаний были разработаны рекомендации, направленные на усовершенствование некоторых узлов планировщика, гидравлической и автоматической систем управления.

На основании материалов испытаний были внесены изменения в конструкцию экскаватора-планировщика, с учетом которых в ГСКБ по ирригации выпущена опытная партия из 5 указанных машин.

Литература

I. Справочник по механизации мелиоративных работ, М., "Колос", 1974.
2. Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1976-1980 гг., часть Ш, "Мелиорация", ЦНИИТЭИ, 1976.
3. Инструкция по проектированию оросительных систем, часть УШ, "Дренаж на орошаемых землях", ВСН-П-8-74, М., 1975.
4. Бердянский В.Н. К методике определения допуска на проектный уклон трубчатой дрены при строительстве, Сб.научных трудов, вып. 143, Ташкент, САНИИРИ, 1974.
5. Бердянский В.Н. Технология и организация работ по подготовке трасс дрен, Научные труды ВАСХНИЛ, Прогрессивные методы строительства закрытого дренажа на орошаемых землях, М., "Колос", 1977.

А.З. ТУРАКУЛОВ
аспирант
(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КАМЕННОГО КРЕПЛЕНИЯ НА РЕКАХ СЕВЕРНОЙ ЗОНЫ СУРХАНДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ УЗБЕКИСТАНА x)

Ограниченность водных ресурсов Сурхандарьинской области обусловливает необходимость осуществления мер по эффективному использованию воды, ликвидации потерь ее

---

x) Работа выполнена под руководством канд.техн.наук Х.А.Ирмухамедова.

во всех звеньях оросительной системы, изысканию и использованию дополнительных источников.

В отдельные многоводные годы паводковые расходы, а также при интенсивных дождях образующиеся селевые потоки наносят большой ущерб народному хозяйству и особенно гидротехническим сооружениям. Поэтому первостепенное значение в борьбе с селями принадлежит инженерным сооружениям.

Для рек Сурхандарьи, протекающих в песчано-гравийно-галечниковых грунтах, характерны интенсивные деформации русла в плане вследствие резкого свала потока.

Размывы берегов обычно распространяются на значительные участки берега, длина которых достигает в некоторых случаях 5-10 км на реках Сурхан и Каратаг, 3-4 км на реках Туполанг и Ходжаипак и 1-2 км на р.Шерабад. Для защиты берегов и гидротехнических сооружений необходимо проводить берегозащитные мероприятия на всей длине участка.

До недавнего времени защита берегов этих рек от размыва осуществлялась главным образом с помощью различного рода местных сооружений и креплений (сипан, хворостяно-панельные фашины и другие мелкие крепления из местного материала). Затраты на эти работы ежегодно по области составляют 0,8-1,0 млн.рублей.

В последние годы для защиты берегов применяли железобетонные и бетонные плиты как сборные, так и монолитные, а также сквозные шпоры из железобетонных свай и частично шпоры из сквозных тетраэдров. Все эти защитные сооружения характеризуются высокой стоимостью, трудоемкостью и значительными сроками возведения. В связи с этим возникла необходимость разработать оперативные и индустриальные методы защиты берегов с использованием местных материалов.

На основании изучения режима работы существующих берегозащитных сооружений на реках Сурхандарьи, нами предложены и разработаны новые варианты конструкции бе-

регозащитных сооружений, сущность которых в том, что поверхность берегозащитных сооружений выполняется из крупных камней и имеет повышенную шероховатость для гашения скоростей набегающего и протекающего вдоль берега потока.

В а р и а н т I. На берегозащитных дамбах (m = 2), выполненных из местных материалов (гравий, песок) через каждые 4,0 м устраиваются вдоль откоса буто-бетонные балки сечением 40х60 см. Балки заглубляются на 20 см в откос дамбы. Между балками укладывается габионная сетка 8х8 см с вертикальными выпусками через I м и заполняется каменной наброской ϕ = I0 см. Поперек откоса сверху протягивается еще раз такая же сетка и соединяется выпусками и балками проволокой диаметром 5 мм. Во избежание оползания каменной наброски у подошвы укладывается упорная балка на глубине 2,0 м от дна русла (рис. I).

В а р и а н т 2. Все виды земляных работ идентичны с первым вариантом, но между бетонными ребрами уложены булыжные камни диаметром ϕ = 30 см без сетки (рис. 2).

В а р и а н т 3. После возведения экскаватором защитной дамбы бульдозером планируется откос (m = 2), на который укладывается габионная сетка с проволочными выпусками ϕ = 5 мм через I м в шахматном порядке, после чего засыпается 40-сантиметровым слоем булыжника ϕ = I0 см - отходом Сарыассийского гравийно-сортировочного завода. Сверху укладывается вторая сетка и перевязывается проволокой, выпущенной из нижней сетки. После чего производится обратная засыпка грунта до уровня дна реки (рис. 3).

В а р и а н т 4. После устройства дамбы на откос m = 2,0 грейдером укладываются крупные камни ϕ = 30 см слоем более 60 см, затем бульдозером производится обратная засыпка грунта. Из всех вариантов это наиболее экономичный, механизированный на 90% (рис. 4).

В вариантах I и 2 расстояние между ребрами-балками зависит от характеристики грунтов берега; при гравелистом грунте ребра устраиваются через 4 м; при уменьшении крупности гравия расстояние между балками уменьшается.

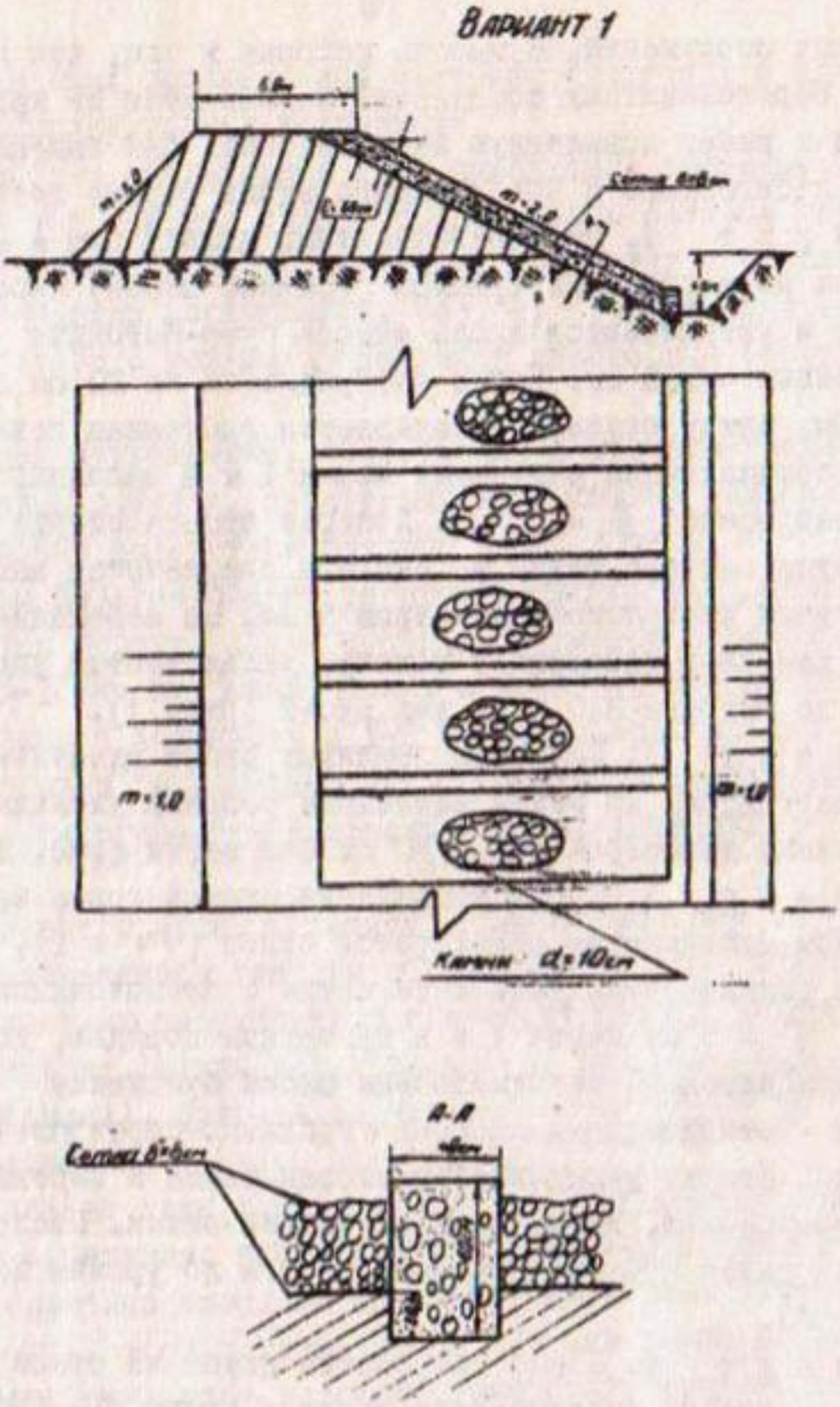


Рис.I.

Все рекомендуемые варианты крепления берегов осуществлены на р.Туполанг. Здесь дно реки и берега сложены из шагала, максимальный размер камня ϕ = 15 см.

Для механизации указанных вариантов откосы дамбы (m = 2) выполнены с тем расчетом, высотой не более 3,0 м, чтобы можно было планировать бульдозером.

Кроме того, на экспериментальном участке выполнены также глухие шпоры длиною 30,0 м под углом 60^0 к течению,

Вариант 2

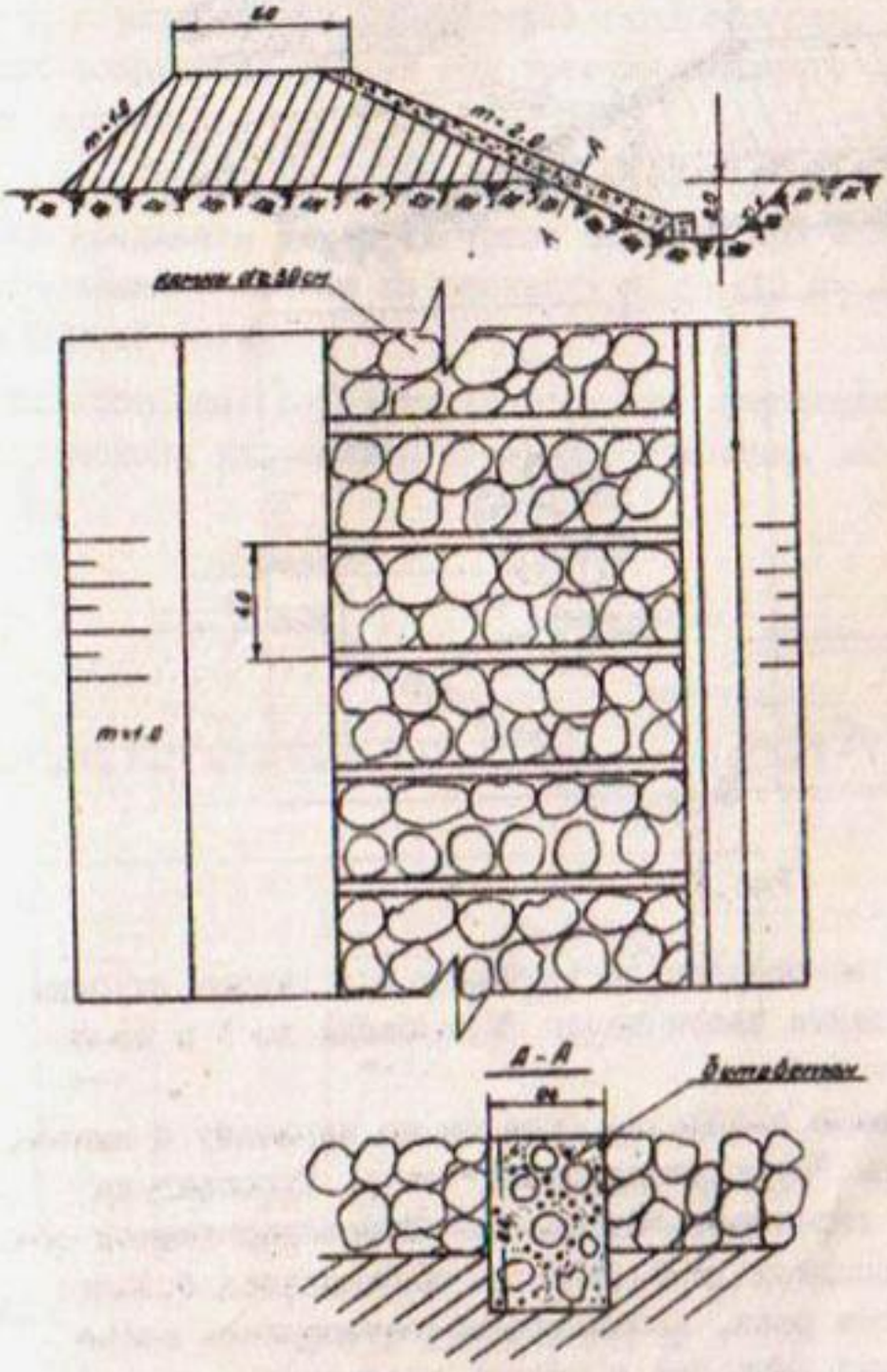


Рис.2.

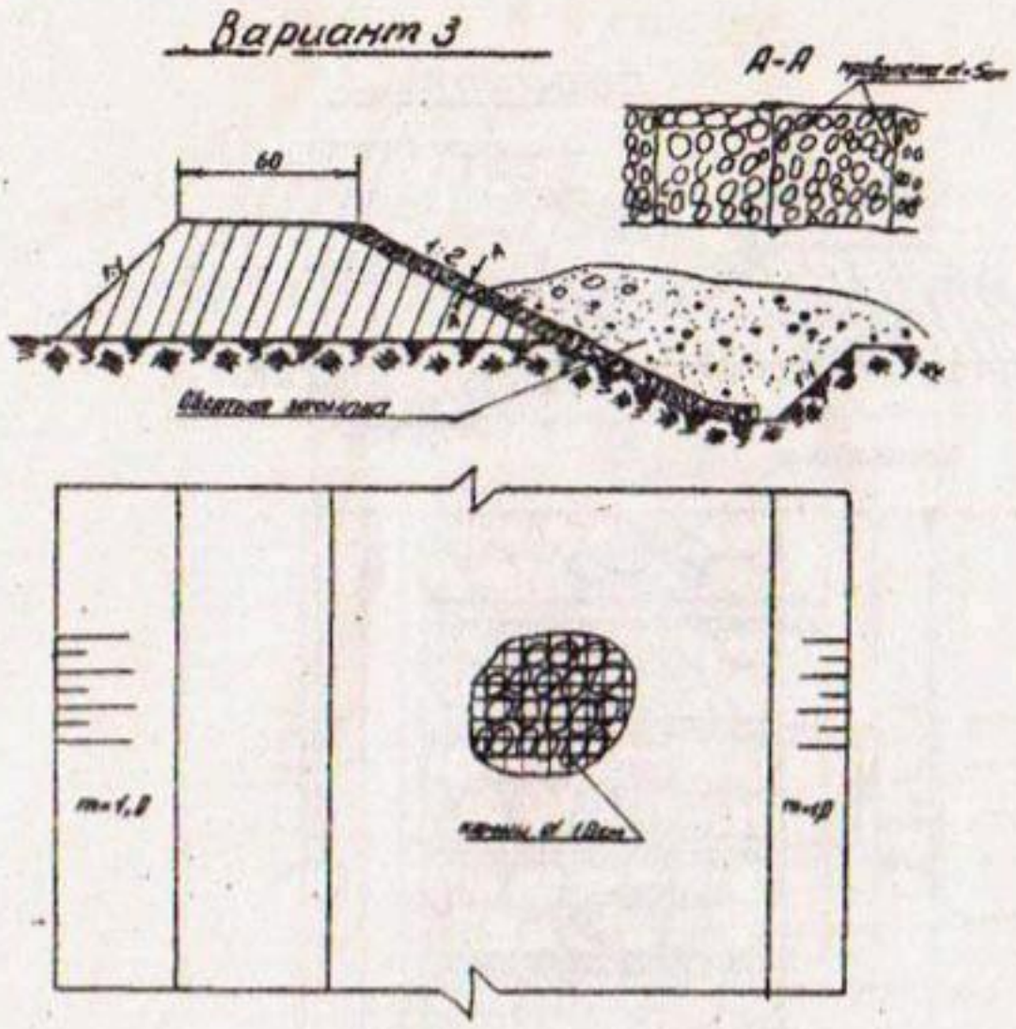


Рис.3.

откосы шпоры закреплены по варианту 4 с учетом глубины размыва. Головные части шпоры заглублены до 3 м от поверхности дна реки.

Рекомендуемые крепления берегов по варианту 4 выполняются трестом "Сурхангидрострой" на р. Туполанг на участке зоны аэропорта "Сарыассия" Сурхандарьинской области. При паводках 1969-1976 гг. наблюдались большие размывы берегов реки, неоднократно затоплялись жилые поселки, старый аэропорт и многие плодородные земли колхозов. В начале июня 1977 г. по р. Туполанг прошел паводок, расход которого достиг 300-350 м^3/с, $Q_{тах.набл.}$ - 415 м^3/с. Все крепления выдержали испытания.

Раньше в Сурхандарьинской области берегозащитные работы выполнялись с использованием в качестве крепления бетонных облицовок. Эти работы дорогостоящие, трудоемкие и не везде есть бетоносмесительные установки,

в отдельных случаях расстояние перевозки достигает 50 км, а самое главное, цемент, лесс, щебень являются дефицитом для Сурхандарьинской области. Помимо этого, бетонные сооружения каждый год требуют большого количества ремонтных затрат.

В целях экономии цемента рекомендуется устраивать берегозащитные крепления рек предгорной зоны, а при наличии вблизи крупного камня ϕ =30 см по варианту 4, ϕ = I0 см – по варианту 2, без нижней сетки.

Разработанные варианты конструкции крепления дамб и шпор будут применены для защиты берегов от размыва на р.Сурхан и Кизыл-Су.

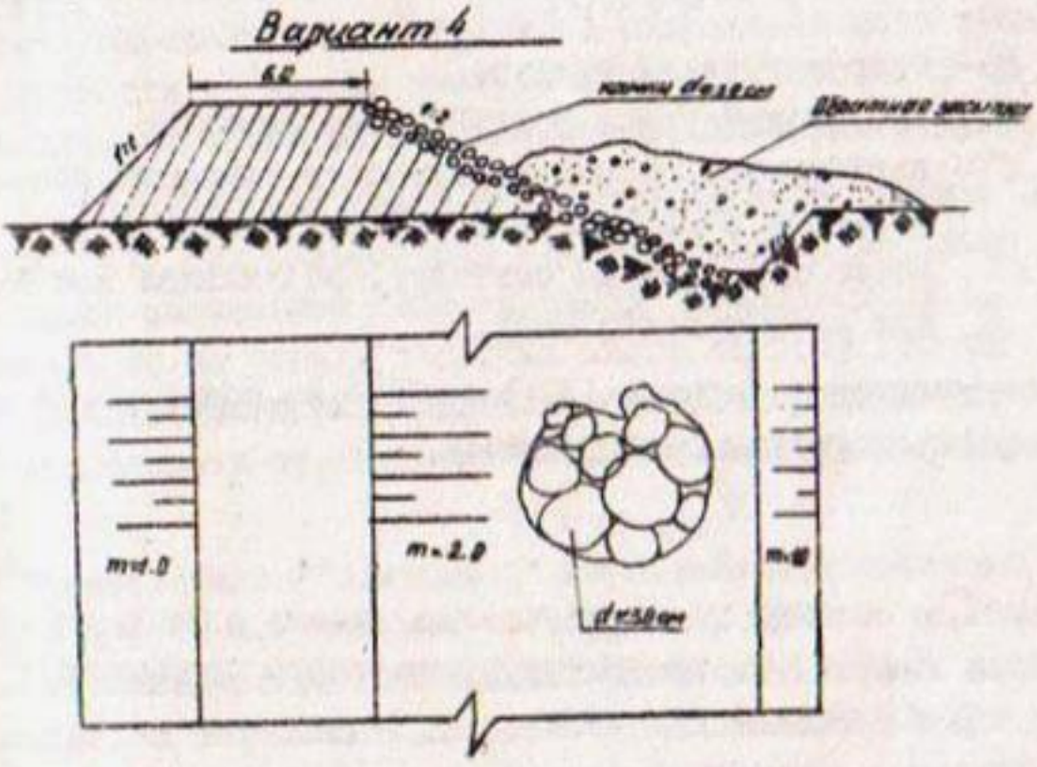


Рис 4

ЛИТЕРАТУРА

I. С.Т.Алтунин – Регулирование русла, "Сельхозиздат", М., I958.

2. К.Ф.Артамонов – Регулировочные работы на реках в предгорных районах. Изд. АН КиргССР, I957.

А.А.КАДЫРОВ

канд.техн.наук, директор

(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

О ПРИРОДЕ КОЭФФИЦИЕНТА ШЕЗИ И ПУТЯХ ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящее время для определения средних скоростей течения проектируемых каналов и других открытых водоводов, работающих при равномерном движении воды, как правило, используется формула Шези, имеющая вид

$$V = C\sqrt{RJ}, \qquad (1)$$

где R – гидравлический радиус;
J – продольный уклон водной поверхности;
C – коэффициент пропорциональности (имеющий размерность в метрической системе – корень из метра деленный на секунду), получивший название коэффициента Шези.

Как известно, формула (I) получена из общей теоретической формулы равномерного режима

$$\frac{\tau_0}{\gamma} = RJ. \qquad (2)$$

Здесь τ_0 – среднее касательное напряжение сдвига на стенке (т.е. по контуру смоченного периметра);
γ – удельный вес воды.

Согласно многочисленным опытным данным при наиболее распространенном режиме течения, называемого областью квадратичного сопротивления, левая часть выражения (2) пропорциональна скоростному напору, т.е.

$$\frac{\tau_0}{\gamma} = \frac{\lambda}{4} \cdot \frac{V^2}{2g}, \qquad (3)$$

где λ – безразмерная величина, называемая коэффициентом гидравлического трения.

Подстановка (3) в (2) и решение относительно V дает:

$$V = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \cdot \sqrt{RJ}. \qquad (4)$$

Формула (I) получается из (4), введением обозначения

$$\sqrt{\frac{8g}{\lambda}} = C \qquad (5)$$

Для определения коэффициента Шези или входящего в него коэффициента гидравлического трения λ существует множество формул, полученных путем обработки натурных и экспериментальных данных. Большинство из них связывает численное значение C с гидравлическим радиусом R и некоторым коэффициентом шероховатости n, зависящим от грунта ложа или материала облицовки. В частности, сюда относятся весьма распространенные формулы Форхгеймера, Маннинга и Н.Н.Павловского, а также более сложные Базена и Гангалье-Куттера. В некоторых формулах значение коэффициентов C или λ определяется в зависимости от гидравлического радиуса R и выступа шероховатости Δ, имеющего некоторый физический смысл (формула И.В.Егиазарова, А.Ю.Умарова и др.). Наконец, есть формулы, определяющие коэффициент гидравлического трения λ в зависимости от высоты выступа шероховатости Δ и числа Рейнольдса Re (формулы А.Д.Кольбрука, Альтшуля и др.).

Не рассматривая всего многообразия существующих формул, отметим, что они разработаны для водоводов с жесткими стенками с так называемой "закрепленной" шероховатостью. Однако исследования на реках, влекущих много наносов, указывают на существенное изменение гидравлического сопротивления в потоке в зависимости от интенсивности и характера движения наносов.

Существование "подвижной" шероховатости отмечают С.Т.Алтунин / 2 /, А.М.Мухамедов и Т.Кураев / 10 / и др. Очевидно такая шероховатость, связанная с движением донных наносов и образованием подвижного грядового рельефа дна, может отмечаться и во многих каналах, транспортирующих значительное количество песчаных наносов, к которым относится большинство оросительных каналов Средней Азии.

Для подобных каналов расчеты с определением коэффициента Шези по традиционным формулам могут привести к занижению скоростей течения при больших расходах (опасному с точки зрения возможности их размыва) и завышению скоростей при малых расходах (способствующему их заилению).

Следует добавить, что используемые при расчетах по наиболее распространенным формулам Маннинга и Н.Н.Павловского

значения коэффициента шероховатости принимаются по таблицам, в зависимости от словесной характеристики грунтов, слагающих ложе канала, и могут заметно отличаться от "фактических", что для крупных каналов может привести к нежелательным последствиям.

Выход можно было бы найти, используя для расчетов больших каналов эмпирические кривые зависимости коэффициента Шези или коэффициента шероховатости в зависимости от наполнения или расхода воды, построенные по данным натурных измерений на канале-аналоге. Пример таких связей в виде кривых $n=f(Q)$, построенных по данным гидрометрических измерений на Амударье, можно найти в работе А.М.Мухамедова и Т.Жураева / IO /. Однако такой путь сложен и тоже, видимо, не гарантирует от возможности существенных ошибок. Дело в том, что используя материалы наблюдений, натурные значения коэффициента Шези, согласно (I), надо вычислять по формуле

$$C=\frac{v}{\sqrt{RJ}}. \qquad (6)$$

Очевидно, ошибки вычисляемых значений C определяются ошибками, с которыми определены гидравлические элементы потока, входящие в правую часть выражения (6). При правильно организованных гидрометрических измерениях средняя скорость v и гидравлический радиус R определяются с ошибкой I-2%. Точность определения продольного уклона водной поверхности значительно ниже.

Как известно, уклон водной поверхности вычисляют, деля разницу уровней воды в двух створах, расположенных выше и ниже створа гидрометрических измерений, на расстояние между створами. При этом, ввиду малой величины уклона, это расстояние принимают возможно большим. Поэтому по результатам измерений определяют среднюю величину уклона на участке значительного протяжения. Такой осредненный уклон может существенно отличаться по величине местного уклона в створе гидрометрических измерений, которая должна входить в формулу (6).

Следует добавить, что точное измерение уровней в уклонных створах весьма затруднительно из-за искажений, вносимых пульсацией, а также возможным поперечным перекосом водной поверхности в створах под действием циркуляционных течений, ветра и других факторов. Всем сказанным можно объяснить сильный разброс натурных точек при определении коэффициента Шези (или коэффициента шероховатости) по данным измерений.

Нами предлагается метод определения коэффициента Шези, основанный на структурной двухмерной модели / 4 /. Сущность этой модели, подробно описанная в работах / 4, 5 /, заключается в том, что векторное поле осредненных по времени скоростей реального турбулентного потока заменяется двумя взаимно ортогональными векторными полями: продольных скоростей, осредненных по времени $\bar{v}_x$ и ортогональных к ним вертикальных (пульсационных) составляющих, тоже осредненных[1] по времени $/\bar{v}_y/$.

Каждое поле характеризуется распределением соответствующих скоростей по глубине, выражаемым для поля продольных скоростей логарифмическим или показательным (степенным) законом, а для поля вертикальных составляющих, например, формулой И.К.Никитина / 7 /. В результате векторного сложения составляющих в потоке возникают фиктивные траектории движения (они же векторные линии тока), распространяющиеся от дна к поверхности и обратно.

Для описания этих траекторий (линий токов) можно использовать два параметрических уравнения –

$$\left.\begin{aligned} x &= \int_0^t \bar{v}_x\, dt \\ y &= \int_0^t |\bar{v}_y|\, dt \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

Пределы изменения ординат "x" и "y" определяются условиями $0 \leq x \leq l_n$ и $\delta \leq y \leq h$ [2], где h – глубина потока,

---

1) Осреднение по времени пульсационных составляющих здесь и далее производится по модулю.

2) При использовании формул И.К.Никитина, полученных на основе его двухслойной модели. В общем случае это условие выглядит так: $0 \leq y \leq h$

3) Известная в гидравлике модель Буссинеска является одномерной и представляет собой частный случай предложенной модели.

δ – толщина придонного слоя, l_h – длина проекции восходящей или нисходящей ветви траектории (линии тока) на дно (рис.I)

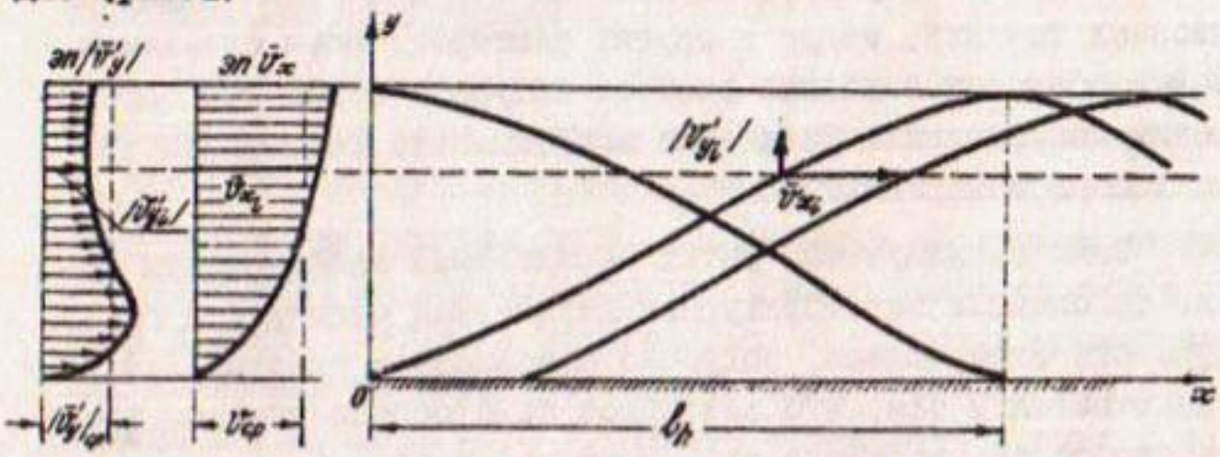


Рис.I.Скоростное поле и траектории частиц модельного потока(двухмерного).

В работе / 5 / показано, что длина l – очень важный параметр предлагаемой структурной модели и турбулентных потоков вообще. В частности, имеет место соотношение

$$v_{cp}\, h = |\bar{v}'_y|_{cp}\, l_h = q, \qquad (8)$$

выражающее известное уравнение неразрывности для потоков как в продольном, так и поперечном (вертикальном) направлениях. Отсюда, очевидно,

$$v_{cp} = \frac{l_h}{h} |\bar{v}'_y|_{cp}. \qquad (9)$$

Это выражение позволяет по новому подойти к определению коэффициента Шези C, правда, для частного случая формулы (I), соответствующего руслу большой ширины, когда гидравлический радиус R достаточно близок средней глубине потока h . В этом случае формула (I) получает выражение

$$v_{cp} = v = C\sqrt{hJ}. \qquad (10)$$

Такое ограничение необходимо потому, что структурная модель разработана нами пока лишь для плоского двухмерного потока (или потока бесконечной ширины), и использование приводимых ниже выводов в общем случае формулы (I) может привести к ошибкам.

Для дальнейших преобразований (9) используем понятие

"динамическая скорость" –

$$v_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}, \qquad (11)$$

где $\rho = \frac{\gamma}{g}$ – плотность воды.

В работе / 5 / показано, что для модельного потока, заменяющего реальный, правомерна запись

$$\tau_0 = \rho \, |\bar{v}_x'|_{cp} \cdot |\bar{v}_y'|_{cp}. \qquad (12)$$

Совместное решение двух последних уравнений дает:

$$v_* = \sqrt{|\bar{v}_x'|_{cp} \cdot |\bar{v}_y'|_{cp}}, \qquad (13)$$

где $|\bar{v}_x'|_{cp}$ – средняя по глубине пульсационная составляющая продольной скорости.

По данным экспериментальных исследований Н.Т.Фазуллина / 11 / и других авторов, средняя квадратичная величина продольных пульсаций σ_x равна удвоенной средней квадратичной величине поперечных (вертикальных) пульсаций σ_y, т.е.

$$\sigma_x \cong 2\sigma_y \qquad (14)$$

Переходя к осредненным по времени (модулю) и вертикали пульсационным составляющим, можно принять:

$$|\bar{v}_x'|_{cp} \cong 2|\bar{v}_y'|_{cp}. \qquad (15)$$

Тогда подставляя (15) в (13), получим:

$$v_* = |\bar{v}_y'|_{cp} \sqrt{2}. \qquad (16)$$

Отсюда

$$|\bar{v}_y'|_{cp} = 0{,}71\, v_* \qquad (17)$$

Отметим, что в работе / 4 / выражение (17) дано с коэффициентом 0,73, что, видимо, недостаточно точно. Подставляя (17) в (9), имеем

$$V = 0{,}71 \frac{l_h}{h} v_* . \qquad (18)$$

В то же время, исключая τ_0 из (II) и (2) и заменяя, в соответствии с рассматриваемым частным случаем, гидравлический радиус R средней глубины, получаем

$$v_* = \sqrt{ghJ}. \qquad (19)$$

Подстановка (I9) в (I8) дает

$$v = 0{,}71\sqrt{g}\frac{l_h}{h}\sqrt{hJ} = 2{,}3\frac{l_h}{h}\sqrt{hJ}. \qquad (20)$$

При сравнении (I9) и (I0) видно, что они идентичны, если принять

$$C = 2{,}3\frac{l_h}{h}. \qquad (2I)$$

Формула (20), по нашему мнению, лучше отображает физическую природу коэффициента Шези, чем формула (5), в которую входит недостаточно ясный по своей сущности коэффициент гидравлического трения λ . Отметим, что числовая константа формулы (2I) $2{,}3 = 0{,}7I\sqrt{g}$ имеет, очевидно, следующую размерность: корень из метра деленный на секунду.

Для практического использования формулы (2I) необходимо иметь метод определения параметра l_h . Такой метод может основываться на использовании приведенных ранее параметрических уравнений фиктивной линии токов (7). В эти уравнения при этом надо подставлять выражения, описывающие распределение продольных $\bar{v}_x$ и вертикальных пульсационных $|\bar{v}_y'|$ скоростей по вертикали:

$$\bar{v}_x = v_{cp} f_1\left(\frac{y}{\delta}\right) \text{ и } |\bar{v}_y'| = |\bar{v}_y'|_{cp} \cdot f_2\left(\frac{y}{\delta}\right).$$

Ряд случаев построения линий токов и определения l_h , соответствующих различным выражениям, принимаемым для описания распределения скоростей $\bar{v}_x$ и $|\bar{v}_y'|$, рассмотрен в работе / 4 /.

Для дальнейших рассуждений примем логарифмическую формулу распределения продольных скоростей по вертикали, предложенную И.К.Никитиным / 7 /, введя в нее для большей общности некоторый параметр $\varkappa$, что приводит к выражению

$$\bar{v}_x = \frac{2,3}{\varkappa} v_* \left(1,15 \lg \frac{y}{\delta} + 1,5 - \frac{\delta}{y}\right). \qquad (22)$$

Параметр $\varkappa$ - аналогичен параметру Кармана в обычной формуле логарифмического распределения скоростей, которй раньше принимали постоянным для всех потоков и равным 0,4. Однако исследования Г.В.Железнякова / 3 /, В.Ф. Талмаза / 8 / и многих других ученых указывают на довольно широкие пределы его изменения ($0,38 \leq \varkappa \leq 0,6$).

Формула (22) получается из формулы И.К.Никитина, если принять, что последняя соответствует постоянному значению $\varkappa = 0,4$. Принимая постоянство вертикальной составляющей скорости пульсации $/\bar{v}'_y/$ по глубине из второго уравнения (7), получим

$$y - \delta = /\bar{v}'_y/_{ср} \ (t - t_0) \qquad (23)$$

или пренебрегая δ и t_0 за малостью -

$$y = /\bar{v}'_y/_{ср} \cdot t \qquad (24)$$

Подставляя (24) в (22) имеем:

$$\bar{v}_x = \frac{2,3}{\varkappa} v_* \left[1,15 \lg \left(\frac{/\bar{v}'_y/_{ср} \cdot t}{\delta}\right) - \frac{\delta}{/\bar{v}'_y/_{ср} t} + 1,5\right]. \qquad (25)$$

Далее, подставляя (25) в первое уравнение (7) и интегрируя, получим:

$$l_h - \Delta l_h = \frac{2,3}{\varkappa} v_* \left[\left(0,65 \frac{h}{h-\delta} - 0,5\right) \lg \frac{h}{\delta} - 0,35\right](T - \Delta T). \qquad (26)$$

Так как согласно (23), очевидно, имеем

$$T - \Delta T = \frac{h - \delta}{/\bar{v}'_y/_{ср}} \quad или \quad T = \frac{h}{/\bar{v}'_y/_{ср}} \qquad (27)$$

то, с учетом (I7) из (26) -

$$l_h - \Delta l_h = \frac{3,13}{\varkappa} \left[\left(0,65 \frac{h}{h-\delta} + 0,5\right) \lg \frac{h}{\delta} - 0,35\right](h - \delta) \qquad (28)$$

Без большой погрешности можно допустить $\frac{l_h - \Delta l_h}{h - \delta} \cong \frac{l_h}{h}$.

Тогда, решая совместно (28) и (2I), получим:

$$C=\frac{7,2}{\varkappa}\left[\left(0,65\frac{h}{h-\delta}+0,5\right)\lg\frac{h}{\delta}-0,35\right]. \quad (29)$$ x)

Используя экспериментальные (лабораторные) данные И.К.Никитина / 7 / и натурные данные С.Х.Абальянца / I /, охватывающие все области сопротивления - от режима гидравлически гладкого русла до режима с квадратичным сопротивлением, мы произвели вычисление средних скоростей по формуле (I0), исходя из значений коэффициента Шези C, определенных по (29). Сравнение этих скоростей со скоростями, измеренными в процессе опытов или натурных измерений, показано на рис.2.Средние квадратичные отклонения между вычисленными и измеренными скоростями при использовании лабораторных данных И.К.Никитина составили 0,0I7; натурных данных С.Х.Абальянца - 0,02.

При практическом использовании формулы (29) нами рекомендуется принимать численные значения $\varkappa$ в зависимости от относительной шероховатости русла $\frac{h}{d_{cp}}$ (где d_{cp} - средний диаметр частиц грунта, слагающего русло):

h/d_{cp}	5	I0	I2-I5	26-50	50-I00	I00-500
$\varkappa$	0,47	0,42	0,40	0,39	0,385	0,38

Значение $\varkappa$ - может быть уточнено по данным канала-аналога, с помощью многоточечных измерений скоростей по ряду характерных вертикалей и построения по полученным данным осредненной эпюры распределения скоростей. Сравнивая эту эпюру с эпюрами, построенными по (22) при разных значениях $\varkappa$, можно подобрать значение $\varkappa$, обеспечивающее наилучшее соответствие эпюр.

---

x) Вывод формулы (29) и сопоставление ее с данными лабораторных опытов и натурных измерений выполнены аспирантом С. Махкамовым.

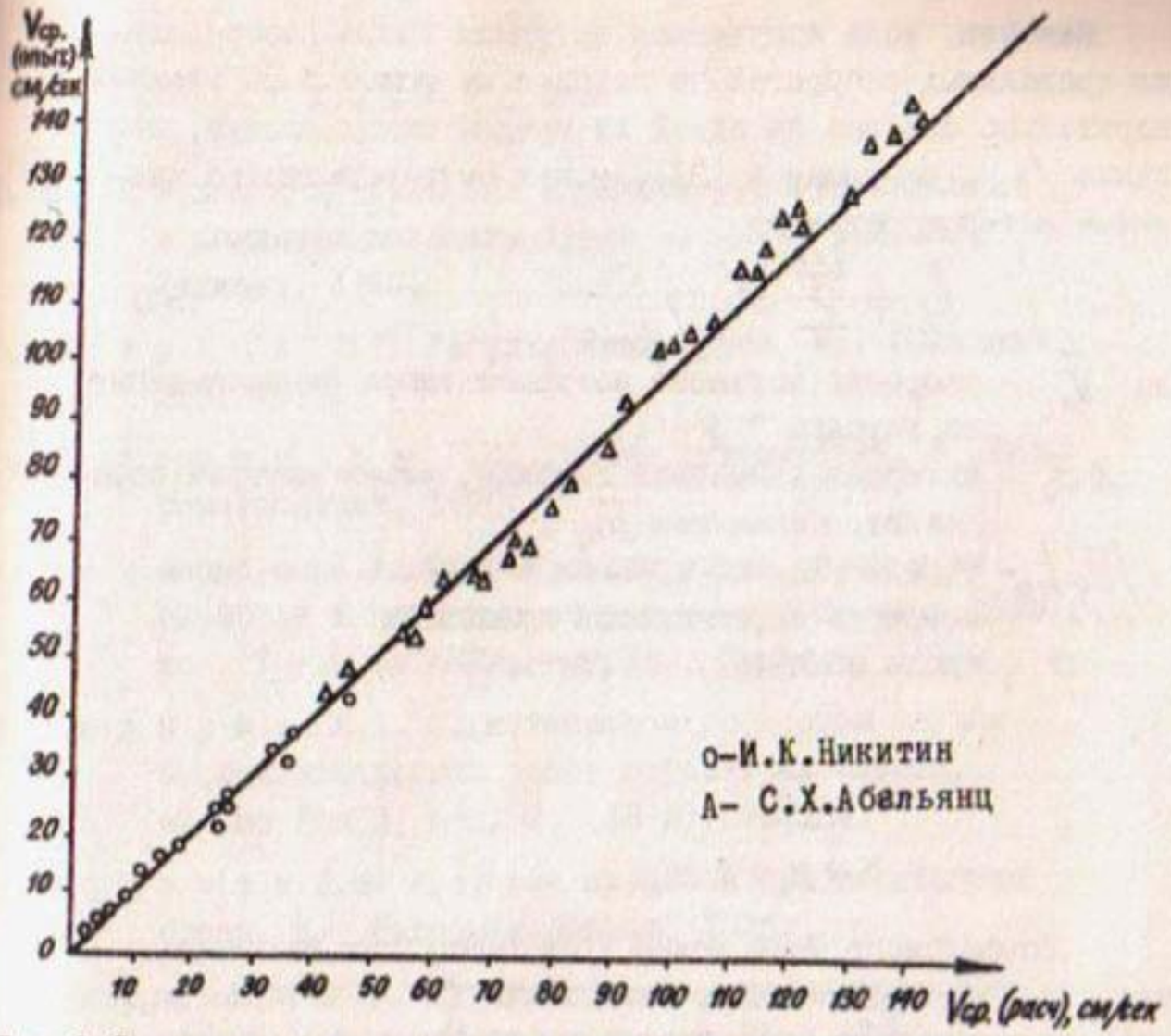


Рис.2.Сравнение расчетных значений средней скорости с опытными.

Указанным способом, очевидно, можно подобрать значение $\varkappa$ и для случая "подвижной" шероховатости, когда сопротивление русла определяется не только размерами, но и скоростью перемещения частиц наносов или меняющимся рельефом дна. Возможно, что в некоторых случаях формула (22) при любых $\varkappa$ не будет давать достаточно близкого соответствия полученной осредненной эпюре распределения скоростей. В этом случае можно испробовать другие формулы, в частности логарифмическую формулу Ясмунда-Никурадзе, формулу В.Ч.Чоу / 9 / и другие, предварительно преобразовав их по методике, по которой получена зависимость (29).

Наконец, если полученная натурная эпюра распределения продольных скоростей по глубине не может быть удовлетворительно описана ни одной из предлагаемых формул, величина l_h , входящая в (21), может быть определена численным методом согласно

$$l_h = \sum_{o}^{i=n} \bar{v}_{x_i} \frac{\Delta y_i}{|\bar{v}'_{y_i}|_{cp}} , \qquad (30)$$

где $\bar{v}_{x_i}$ – скорость согласно натурной эпюре распределения на глубине " y ";

Δy_i – интервал изменения глубины, через который определяются значения $\bar{v}_{x_i}$;

$|\bar{v}'_{y_i}|_{cp}$ – осредненная по времени и глубине интервала скорость вертикальной пульсации;

n – число измерений по глубине.

Выводы

– Коэффициент Шези можно трактовать как физическую величину, пропорциональную отношению $\frac{l_h}{h}$, которое характеризует внутреннюю структуру потока и зависит от взаимодействия твердых границ русла с потоком.

– Закон распределения скоростей по вертикали (сечению), следовательно, и значение средней скорости обусловливается такими характеристиками потока и русла, как: h , d_{cp} (или Δ_{cp}), δ , $\mathcal{H}$. Эти же характеристики вошли в зависимость (29), позволяющую определять численное значение коэффициента Шези C.

– Поиски надежной расчетной формулы для коэффициента Шези по предлагаемому пути предпочтительнее, чем традиционные, когда в основу расчетных формул кладутся только R (или h) и так называемый коэффициент шероховатости n , физическая сущность которого до сих пор не выяснена.

Литература

I. Абальянц С.Х. Гидравлические сопротивления в земляных каналах. Труды САНИИРИ, вып.I08, Ташкент, I960.

2. Алтунин С.Т. Регулирование русл, М., Сельхозгиз, I962.

3. Железняков Г.В. Теория гидрометрии. Л.,Гидрометеоиздат, I976.

4. Кадыров А.А. О построении линии токов и их свойства в условиях открытых турбулентных потоков. Труды САНИИРИ, вып.I30, Ташкент, I972.

5. Кадыров А.А. Сб.материалов по итогам научно-исследовательских работ строит.факультета, изд-во ТашПИ, вып.92, (I972), 76-I24.

6. Карасев И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. Л., Гидрометеоиздат, I975.

7. Никитин И.К. Турбулентность руслового потока и процессы в придонной области. Киев, I963.

8. Талмаза В.Ф. Гидроморфометрические характеристики горных рек.

9. Чоу В.Т. Гидравлика открытых потоков. М., Стройиздат, I959.

I0. Мухамедов А.М. иДжураев Т. О коэффициенте шероховатости реки Амударьи. Труды САНИИРИ, вып.I35, Ташкент, I972.

II. Фазуллин Н.Т. Исследование связей между некоторыми характеристиками турбулентного потока и гидравлическим сопротивлением в открытых руслах. Автореферат канд.дисс., М., I969.

Ю.Г.ИВАНЕНКО
канд.техн.наук, доцент (ТИИИМСХ)
А.А.КАДЫРОВ
канд.техн.наук, директор
А.Г.ПУЛАТОВ
инженер, зав. отделом
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

УСТАНОВИВШЕЕСЯ НЕРАВНОМЕРНОЕ ТЕЧЕНИЕ ВОДЫ В ОТКРЫТЫХ РУСЛАХ С ПЕРЕМЕННЫМ РАСХОДОМ

Движение воды с переменным расходом в открытых русл представляет наиболее сложный случай установившегося одн мерного течения.

Система уравнений движения и неразрывности для иссл дуемого течения в наиболее полном виде получена В.Б.Дуль вым / I /:

$$d\left(\frac{\alpha' v^2}{2g}+h\right)+\frac{(\alpha_0 v-\alpha_0' v_q)}{g\omega}dQ+\left(\frac{v^2}{C^2R}-i_0\right)dx=0 \qquad (1)$$

$$dQ=\pm q\,dx \qquad (2)$$

Здесь

α_0 - корректив скорости основного потока;

α_0' - корректив скорости присоединяющегося (отделяющего потока, направленного под углом θ к оси основног потока и имеющего скорость $v_q = v_0 \cos\theta$;

α' - корректив скорости основного потока, полученный с учетом присоединения (отделения) воды;

$\pm q$ - интенсивность бокового притока (оттока)[x].

Для потока с переменным расходом корректив скорости меньше корректива α', так как присоединение (отделение воды вызывает интенсивное турбулентное перемешивание стр сопровождающееся перераспределением скоростей.

Приведем (I) к виду:

$$d\left(\frac{\alpha' v^2}{2g}+h\right)+\frac{\alpha_0 v}{g\omega}(1-m)dQ+\left(\frac{v^2}{C^2R}-i_0\right)dx=0 \qquad (3)$$

Здесь $m=\frac{\alpha_0' v_q}{\alpha_0 v}$ - безразмерный параметр.

---

x) Остальные обозначения общепринятые.

При движении воды с увеличивающимся расходом $m = 0$; с уменьшающимся расходом - значения параметра исследователями оцениваются по разному / 2 /, / 3 /, / 4 /, / 5 /. Поэтому в каждом конкретном случае целесообразно определять значения его опытным путем.

Система уравнений (I) и (2) решается при начальных условиях

$$h(X_0) = h_0$$
$$Q(X_0) = Q_0. \qquad (4)$$

Форма поперечного сечения русла и характер ее изменения вдоль русла предполагаются заданными в виде функции или таблицы. Предполагается также, что исследуемый процесс развивается в условиях, обеспечивающих медленную и плавную изменяемость течения.

Дифференциальные соотношения (I) и (2) относятся к классу обыкновенных дифференциальных уравнений вида

$$\sum_{j=1}^{n} A^j dZ^j = 0 \qquad (5)$$

с нелинейными коэффициентами. Последние могут быть достаточно сложными функциями одной или нескольких переменных.

Основной метод решения дифференциальных уравнений (5) состоит в линеаризации нелинейных коэффициентов и замене уравнений на некоторой линии $K-f$, на которой они имеют место, конечноразностными соотношениями Эйлера -

$$\sum_{j=1}^{n} \frac{(A^j_K + A^j_f)}{2}\left(Z^j_f - Z^j_K\right) = 0 \qquad (6)$$

В этой схеме фиксированное приращение $\Delta Z^j = Z^j_f - Z^j_K$ следует выбирать достаточно малым.

В настоящей работе излагается метод, позволяющий вывести разностные формулы, также дающие приближенное пошаговое решение начальной задачи, но со значительным увеличением фиксированного шага ΔZ^j.

Полагая $\alpha' = \alpha$, преобразуем уравнение движения (3):

$$d\left(\frac{\alpha v^2}{2g} + h\right) + \frac{\alpha_0 (1-m)}{g}\left[\frac{v^2}{h}\left(\frac{d\ell_n \omega}{d\ell_n h}\right)dh + \frac{1}{2}d(v^2)\right] +$$
$$+ \left[\frac{h}{C^2 R}\frac{v^2}{h} - i_0\right]dx = 0 \qquad (7)$$

Аппроксимируем (7) дифференциальным соотношением

$$\left[1+\left(\frac{\alpha_0(1-m)}{g}\bar{S}+\frac{[\alpha+\alpha_0(1-m)]}{2g}\right)\frac{v^2}{h}\right]dh+$$

$$+h\frac{[\alpha+\alpha_0(1-m)]}{2g}d\left(\frac{v^2}{h}\right)+\left(\bar{P}\frac{v^2}{h}-i_0\right)dx=0. \qquad (8)$$

Здесь

$$\bar{S}=\frac{ln\left|\frac{\omega_f}{\omega_к}\right|}{ln\left|\frac{h_f}{h_к}\right|} \qquad (9)$$

$$\bar{P}=\frac{1}{2}\left(\frac{n_f}{C_f^2R_f}+\frac{h_к}{C_к^2R_к}\right). \qquad (10)$$

Приведем (8) к виду

$$d\left\{h\frac{\left[1+\left(\frac{\alpha_0(1-m)}{g}\bar{S}+\frac{\alpha+\alpha_0(1-m)}{2g}\right)\frac{v^2}{h}\right]}{\left(\bar{P}\frac{v^2}{h}-i_0\right)}+x\right\}+$$

$$+hd\left\{\frac{\alpha+\alpha_0(1-m)}{2g\bar{P}}ln\left|\bar{P}\frac{v^2}{h}-i_0\right|-\left[\frac{1+\left(\frac{\alpha_0(1-m)}{g}\bar{S}+\frac{\alpha+\alpha_0(1-m)}{2g}\right)\frac{v^2}{h}}{\bar{P}\frac{v^2}{h}-i_0}\right]\right\}=0 \qquad (11)$$

Далее заменим дифференциальное уравнение (II) конечно-разностным соотношением

$$x_f-x_к=\frac{(h_f+h_к)}{2}\left\{\frac{1+\left(\frac{\alpha_0(1-m)}{g}\bar{S}+\frac{\alpha+\alpha_0(1-m)}{2g}\right)\frac{v_f^2}{h_f}}{\left(\bar{P}\cdot\frac{v_f^2}{h_f}-i_0\right)}-\right.$$

$$-\frac{1+\left(\frac{\alpha_0(1-m)}{g}\bar{S}+\frac{\alpha+\alpha_0(1-m)}{2g}\right)\frac{v_к^2}{h_к}}{\left(\bar{P}\frac{v_к^2}{h_к}-i_0\right)}-\frac{[\alpha+\alpha_0(1-m)]}{2g\bar{P}}ln\left|\frac{\bar{P}\frac{v_f^2}{h_f}-i_0}{\bar{P}\frac{v_к^2}{h_к}-i_0}\right|\Bigg\}- \qquad (12)$$

$$-\left\{h_f\left[\frac{1+\left(\frac{\alpha_0(1-m)}{g}\bar{S}+\frac{\alpha+\alpha_0(1-m)}{2g}\right)\frac{v_f^2}{h_f}}{\left(\bar{P}\frac{v_f^2}{h_f}-i_0\right)}\right]-h_к\left[\frac{1+\left(\frac{\alpha_0(1-m)}{g}\bar{S}+\frac{\alpha+\alpha_0(1-m)}{2g}\right)\frac{v_к^2}{h_к}}{\left(\bar{P}\frac{v_к^2}{h_к}-i_0\right)}\right]\right\}$$

Если влияние внешних сил, приведенных к единице массы воды, на рассматриваемый процесс течения незначительно, и

величиной $E=g\left(i_0-\frac{v^2}{C^2R}\right)$ можно пренебречь, дифференциальное уравнение (8) существенно упрощается. Такие условия возникают на относительно коротких расчетных участках каналов, в пределах которых интенсивно изменяется расход воды (боковые водосливы, водосборные каналы и т.д.). В этом случае уравнение (8) приводится к квадратурам:

$$\ell_n\left|\frac{h_1}{h_2}\right| = \frac{\alpha+\alpha_0(1-m)}{2\alpha_0(1-m)\bar{S}+\alpha+\alpha_0(1-m)}\,\ell_n\left|\frac{1+\left(\frac{\alpha_0(1-m)}{g}\bar{S}+\frac{\alpha+\alpha_0(1-m)}{2g}\right)\frac{v_2^2}{h_2}}{1+\left(\frac{\alpha_0(1-m)}{g}\bar{S}+\frac{\alpha+\alpha_0(1-m)}{2g}\right)\frac{v_1^2}{h_1}}\right| \qquad (13)$$

При расчете параметров течения, характеризующегося незначительным изменением расхода воды по длине русла, рационально использовать разностное выражение (12).

Для дифференциальной формы (2) построим аппроксимирующую функцию:

$$X = \pm\frac{(\ell_n|Q|-a_2)\frac{Q}{q}}{\ell_n\left|\frac{Q}{q}\right|}+a_1. \qquad (14)$$

Здесь a_1, a_2 – постоянные параметры.

Пусть величина коэффициента q в формуле (2) изменяется на расчетном участке в значительных пределах. Это может быть, в частности, при исследовании спокойного потока в русле, одна из стенок которого является боковым водосливом. В этом случае величина удельного расхода, отводимого из потока с единицы его длины, будет определяться по формуле

$$\pm q = M(h-\bar{P})^{3/2}. \qquad (15)$$

Дифференциальное уравнение (2) примет вид

$$dQ = M(h-\bar{P})^{3/2}dx \qquad (16)$$

$$M = \frac{m_0\sqrt{2g}}{\cos\psi}$$

Здесь h – глубина потока в основном русле;
$\bar{P}$ – высота порога водослива;
ψ – угол между водосливом и осью русла;
m_0 – коэффициент расхода водослива.

Аппроксимирующая функция (14) для дифференциальной формы (16) может быть записана в виде

$$X=\frac{(\ell_n|Q|-a_2)\dfrac{Q}{m(h-\bar{p})^{3/2}}}{\ell_n\left|\dfrac{Q}{m(h-\bar{p})^{3/2}}\right|}+a_1. \qquad (17)$$

Будем искать решение дифференциального уравнения (16), удовлетворяющее начальным условиям (4). Дополнительная функциональная связь, определяющая единственность решения задачи

$$Q=Q(h) \qquad (18)$$

задана соотношением (13), приведенным к виду

$$Q^2=(Ah^{1-\beta}-h)\frac{\omega^2}{\gamma}. \qquad (19)$$

Здесь

$$\left.\begin{aligned}\beta&=\frac{2\alpha_0(1-m)\bar{S}+\alpha+\alpha_0(1-m)}{\alpha+\alpha_0(1-m)}\\ \gamma&=\frac{\alpha_0(1-m)}{g}\bar{S}+\frac{\alpha+\alpha_0(1-m)}{2g}\\ A&=h_0^{\beta}\left(1+\gamma\frac{V_0^2}{h_0}\right)\end{aligned}\right\}. \qquad (20)$$

Искомое решение сформулированной задачи будем аппроксимировать функцией (17), зависящей от двух постоянных параметров. Определив параметр a_1 из начальных условий, преобразуем (17):

$$X-X_0=\left[\frac{(\ell_n|Q|-a_2)\dfrac{Q}{m(h-\bar{p})^{3/2}}}{\ell_n\left|\dfrac{Q}{m(h-\bar{p})^{3/2}}\right|}-\frac{(\ell_n|Q|-a_2)\dfrac{Q_0}{m(h_0-\bar{p})^{3/2}}}{\ell_n\left|\dfrac{Q_0}{m(h_0-\bar{p})^{3/2}}\right|}\right] \qquad (21)$$

Неизвестный параметр a_2 в соотношении (21) определим по схеме коллокации. С этой целью выберем параметр таким образом, чтобы соответствующая невязка

$$R(h,a_2)=\frac{dx}{dQ}-\frac{1}{m(h-\bar{p})^{3/2}} \qquad (22)$$

в точке коллокации обращалась в нуль.

Подставив (21) в (22), определим параметр :

$$a_2=\frac{\ell_n|Q|\left(1-\frac{3}{2}\dfrac{Q}{(h-\bar{p})}\dfrac{dh}{dQ}\right)-\ell_n\left|\dfrac{Q}{m(h-\bar{p})^{3/2}}\right|}{1-\frac{3}{2}\dfrac{Q}{(h-\bar{p})}\dfrac{dh}{dQ}} \qquad (23)$$

Используя функцию (19), преобразуем (23):

$$a_2 = \ln\left|\omega\sqrt{\frac{(Ah^{1-\beta}-h)}{\gamma}}\right| - \frac{\ln\left|\frac{\omega\sqrt{\frac{(Ah^{1-\beta}-h)}{\gamma}}}{M(h-\bar{P})^{3/2}}\right|}{\left(1-\frac{3h}{(h-\bar{P})}\frac{(Ah^{1-\beta}-1)}{\left[2(Ah^{1-\beta}-1)\frac{d\ln\omega}{d\ln h}+A(1-\beta)h^{1-\beta}\right]}\right)} \qquad (24)$$

За точку коллокации возьмем ту, которая соответствует среднему значению глубины на расчетном участке.

Таким образом, на линии К – f формула (24) дает возможность определить постоянный параметр a_2, если подставить в нее значения глубины $\bar{h} = \frac{hf+hк}{2}$. Производную $\frac{d\ln\omega}{d\ln h}$ аппроксимируем на расчетном участке соотношением (9) (для призматического прямоугольного русла $\frac{d\ln\omega}{d\ln h} = 1$).

При заданной форме поперечного сечения русла известна также структура выражения

$$\omega = \omega(h) \qquad (25)$$

Найденное значение параметра a_2 позволяет построить конечно-разностный алгоритм (21), хорошо аппроксимирующий при заданных начальных условиях решение дифференциального уравнения (16).

П р и м е р. Призматический канал прямоугольного сечения с гидравлическими элементами – шириной b = 20 м, уклоном дна i_0 = 0,0001 – оборудован боковым водосливом практического профиля с высотой порога P = 1,9 м.

Определить длину бокового водослива l, если пропускная способность канала Q = 93 м^3/с, коэффициент шероховатости n = 0,015, а величина сбросного расхода через водослив $Q_в$ = 23 м^3/с.

Расход канала за боковым водосливом $Q_к$ = 70 м^3/с; ему соответствует нормальная глубина h_0 = 3,0 м.

Считая, что α = 1,2, $\alpha_0(1-m)$ = 0,84, M = 1,8[x], $\bar{\varepsilon}$ = 1, определим по формулам (20):

$$\beta = \frac{3\cdot 0{,}84 + 1{,}2}{1{,}2 + 0{,}84} = 1{,}82$$

$$\gamma = \frac{3\cdot 0{,}84 + 1{,}2}{19{,}62} = 0{,}19$$

---

x) Условия примера и значения указанных параметров взяты из работы В.Б.Дульнева / 1 /.

Параметр A найдем для сечения в конце водослива при $h_0 = 3{,}0$ м, $Q_к = 70$ м^3/с, $V_0 = 1{,}167$ м/с:

$$A = 3{,}0^{1{,}82}\left(1 + 0{,}19\,\frac{1{,}167^2}{3{,}0}\right) = 8{,}02$$

При значении расхода воды $Q = 93$ м^3/с в сечении канала, соответствующем началу водослива, по формуле (19) вычислим глубину воды $h_н = 2{,}876$ м.

Для глубины $h = \frac{h_0 + h_н}{2} = \frac{3{,}0 + 2{,}876}{2} = 2{,}938$, из уравнения (24) определим постоянный параметр .

$$a_2 = \ln\left|58{,}76\sqrt{\frac{8{,}02\cdot 2{,}938^{-0{,}82} - 2{,}938}{0{,}19}}\right| - \ln\left|\frac{58{,}76\sqrt{\frac{8{,}02\cdot 2{,}938^{-0{,}82} - 2{,}938}{0{,}19}}}{1{,}8\,(2{,}938 - 1{,}9)^{3/2}}\right| = 2{,}11$$

$$1 - \frac{3\cdot 2{,}938}{(2{,}938 - 1{,}9)}\cdot\frac{(8{,}02\cdot 2{,}938^{-1{,}82} - 1)}{[2(8{,}02\cdot 2{,}938^{-1{,}82} - 1) + 8{,}02(-0{,}82)\cdot 2{,}938^{-1{,}82} - 1]}$$

Подставив в уравнение (21) вычисленное значение параметра, рассчитаем длину водослива –

$$X - X_0 = \left[\frac{(\ln 93 - 2{,}11)\,\frac{93}{1{,}8\cdot 0{,}976^{3/2}}}{\ln\left|\frac{93}{1{,}8\cdot 0{,}976^{3/2}}\right|}\right] - \left[\frac{(\ln 70 - 2{,}11)\cdot\frac{70}{1{,}8\cdot 1{,}1^{3/2}}}{\ln\left|\frac{70}{1{,}8\cdot 1{,}1^{3/2}}\right|}\right] = 12{,}1\text{ м}.$$

Результаты расчетов, выполненных по способу В.Д.Дульневе, сведены в таблицу

Таблица

h	3,0	2,981	2,962	2,942	2,921	2,899	2,876
Q	70	74,14	78,16	82,06	85,84	89,48	92,98
l	0	2	4	6	8	10	12

Анализ приведенных данных показывает, что применение полученных в работе разностных уравнений (19), (21), (24) позволяет существенно увеличить фиксированный расчетный шаг (в рассмотренном примере в шесть раз).

Выводы

Излагаемый в работе метод позволяет получить приближенное пошаговое решение начальной задачи, описывающей процесс движения воды с переменным расходом в открытых руслах.

Выведены разностные формулы, допускающие, при получении заданной точности, существенное увеличение фиксированного расчетного шага по сравнению с любыми другими способами решения того же класса задач, реализованными с использованием разностной схемы Эйлера.

Литература

1. Дульнев В.Б. Установившееся неравномерное движение жидкости с переменным расходом в открытых руслах заданной формы. Изв. ВНИИГ, т. 62, 1959.

2. Петров Г.А. Движение жидкости с изменением расхода вдоль пути. М., Стройиздат, 1951.
3. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам, М., Госэнергоиздат, 1972.
4. Навоян Х.А. Расчет боковых водосливов на каналах прямоугольного поперечного сечения со спокойным потоком, Изв. ВНИИГ, т. 99, 1972.
5. Чоу В.Т. Гидравлика открытых каналов, М., Стройиздат, 1969.

Л.А. МАШКОВИЧ
канд.техн.наук
Б.Г. МАЛЛАЕВ
канд.техн.наук, ст.научн.сотр.
(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

ВЫБОР РАСХОДА ДЛЯ РАСЧЕТА ВЫСОТЫ ВОДОБОЙНОЙ СТЕНКИ, ОБРАЗУЮЩЕЙ "КОЛОДЕЦ" В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ВОДОСБРОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Отсутствие достоверных решений вопроса о выборе расчетных условий для проектирования прыжковых гасителей в нижнем бьефе водосбросных сооружений, работающих при переменных значениях расхода, приводит к необходимости определения высоты водобойной стенки так же, как и глубины водобойного колодца, на основании рассмотрения графиков зависимости их от расхода, так как известно, что наиболее

тяжелые условия сопряжения бьефов – в смысле затопления гидравлического прыжка – часто получаются не при максимальном $Q_{макс}$, а при некотором, заранее неизвестном, расходе $Q<Q_{макс}$ /I, 2/.

Представленное ниже решение позволяет однократным расчетом определить значение расчетного расхода $Q_{расч}$ и отвечающую этому расходу наибольшую высоту образующей колодец водобойной стенки.

Предположим, что с целью предотвращения отгона прыжка в нижнем бьефе плотины, гидравлическая схема которой представлена на рис. 1, необходимо устроить водобойный колодец с помощью водобойной стенки.

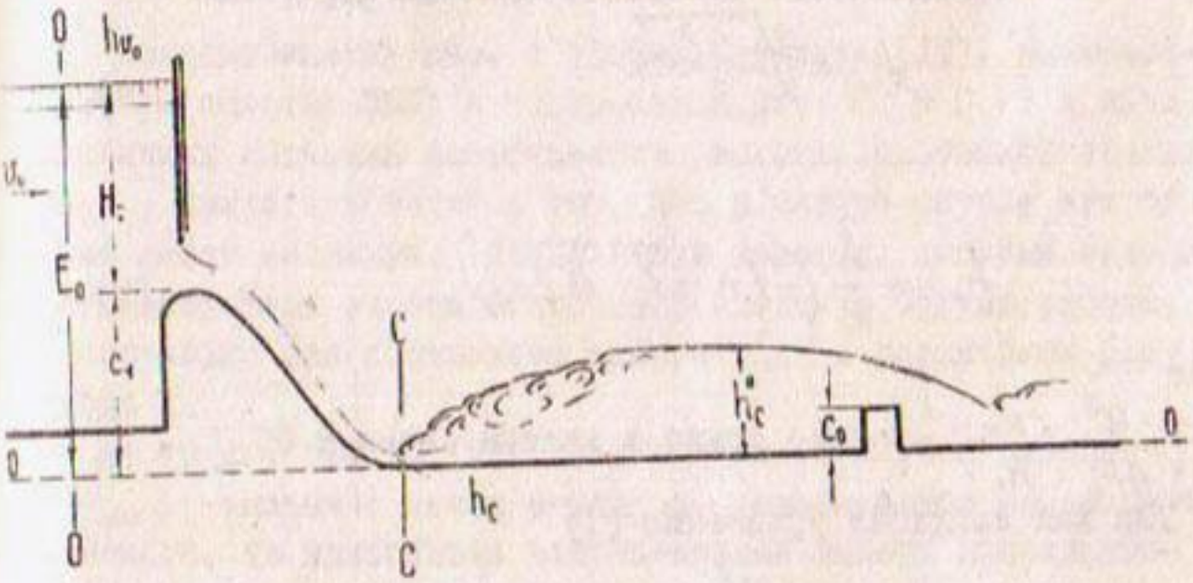


Рис. I. Гидравлическая схема сооружения

При некоторых расчетных значениях напора H_0, удельного расхода $q=\frac{Q}{b_c}$ и глубины потока в сжатом сечении cc, определяемой из уравнения

$$E_0=h_c+\frac{q^2}{2g\varphi_c^2 h_c^2}, \qquad (I)$$

где (рис. I) $E_0=H_0+c_н$ – удельная энергия потока в сечении 00, измеренная относительно уровня дна нижнего бьефа; φ_c – коэффициент скорости, учитывающий потери напора на участке потока между сечениями 00 и CC) необходимая теоретическая высота c_0 неподтопленной водобойной

стенки определяется по формуле

$$c_o = h_c'' + \frac{h_к^3}{2h_c''^2} - \frac{h_к}{\sqrt[3]{2m'^2}}, \qquad (2)$$

которую представим в виде

$$\frac{c_o}{E_o} = \frac{h''}{E_o} + \frac{h_к}{E_o}\left[\frac{1}{2}\left(\frac{h_к}{h_c''}\right)^2 - \frac{1}{\sqrt[3]{2m'^2}}\right], \qquad (3)$$

где

m' - коэффициент расхода водобойной стенки;

$h_к$ - расчетная критическая глубина и

h_c'' - глубина, сопряженная со сжатой глубиной h_c, определяемые соответственно по формулам:

$$h_к = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}, \qquad (4)$$

$$h_o'' = \frac{h_c}{2}\left(-1 + \sqrt{1 + 8Fr_c}\right), \qquad (5)$$

где

$Fr_c = \frac{q^2}{gh_c^3} = \left(\frac{h_к}{h_c}\right)^3$ - число Фруда в сжатом сечении СС.

Так как согласно уравнению (I)

$$\frac{h_c}{E_o} = \frac{2\varphi_c^2}{Fr_c + 2\varphi_c^2}, \qquad (6)$$

то для входящих в зависимость (3) относительных глубин нетрудно получить следующие выражения:

$$\frac{h_c''}{E_o} = \frac{\varphi_c^2}{Fr_c + 2\varphi_c^2}\left(-1 + \sqrt{1 + 8Fr_c}\right), \qquad (7)$$

$$\frac{h_к}{E_o} = \frac{2\varphi_c^2}{Fr_c + 2\varphi_c^2}\sqrt[3]{Fr_c}, \qquad (8)$$

$$\frac{h_к}{h_c''} = \frac{2\sqrt[3]{Fr_c}}{-1 + \sqrt{1 + 8Fr_c}}. \qquad (9)$$

После подстановки этих выражений в (3) придем к уравнению:

$$\frac{c_0}{E_0}=\frac{\varphi_c^2}{Fr_c+2\varphi_c^2}\left[\sqrt{1+8Fr_c}+\frac{4Fr_c}{(1+\sqrt{1+8Fr_c})^2}-\frac{2\sqrt[3]{Fr_c}}{\sqrt[3]{2m'^2}}-1\right]. \quad (10)$$

Правая часть этого уравнения при определенных значениях коэффициентов φ_c и m' является, как видим, функцией только числа Фруда – Fr_c и, следовательно,

$$\frac{c_0}{E_0}=f(Fr_c). \quad (11)$$

Приведенные на рис. 2 графики функции (II), вычисленные (с помощью ЭВМ) и построенные для φ_c = 0,95 и пяти различных значений коэффициента расхода водобойной стенки m', свидетельствуют о том, что в каждом случае эта функция имеет максимум, определяющий условия, которым отвечает наибольшая высота водобойной стенки в случае работы сооружения при постоянном напоре E_0 и переменном расходе q.

Не трудно видеть, что если при максимальном расходе $q_{макс}$ значение числа Фруда Fr_c оказывается менее критического, то наибольшая относительная высота проектируемой водобойной стенки должна определяться как ордината точки максимума, так как с уменьшением расхода числа Фруда возрастают. Если же точка кривой, отвечающая максимальному расходу, лежит правее поворотной точки, то искомая относительная высота водобойной стенки должна быть вычислена при $q_{макс}$.

Для упрощения определения значений $\frac{c_0}{E_0}$ на график (рис. 2) нанесена кривая, построенная для φ_c = 0,95 по зависимости (8), приведенной к виду

$$\frac{q}{E_0^{3/2}}=\sqrt{g}Fr_c\left(\frac{2\varphi_0^2}{Fr_c 2\varphi_c^2}\right)^{3/2} \quad (12)$$

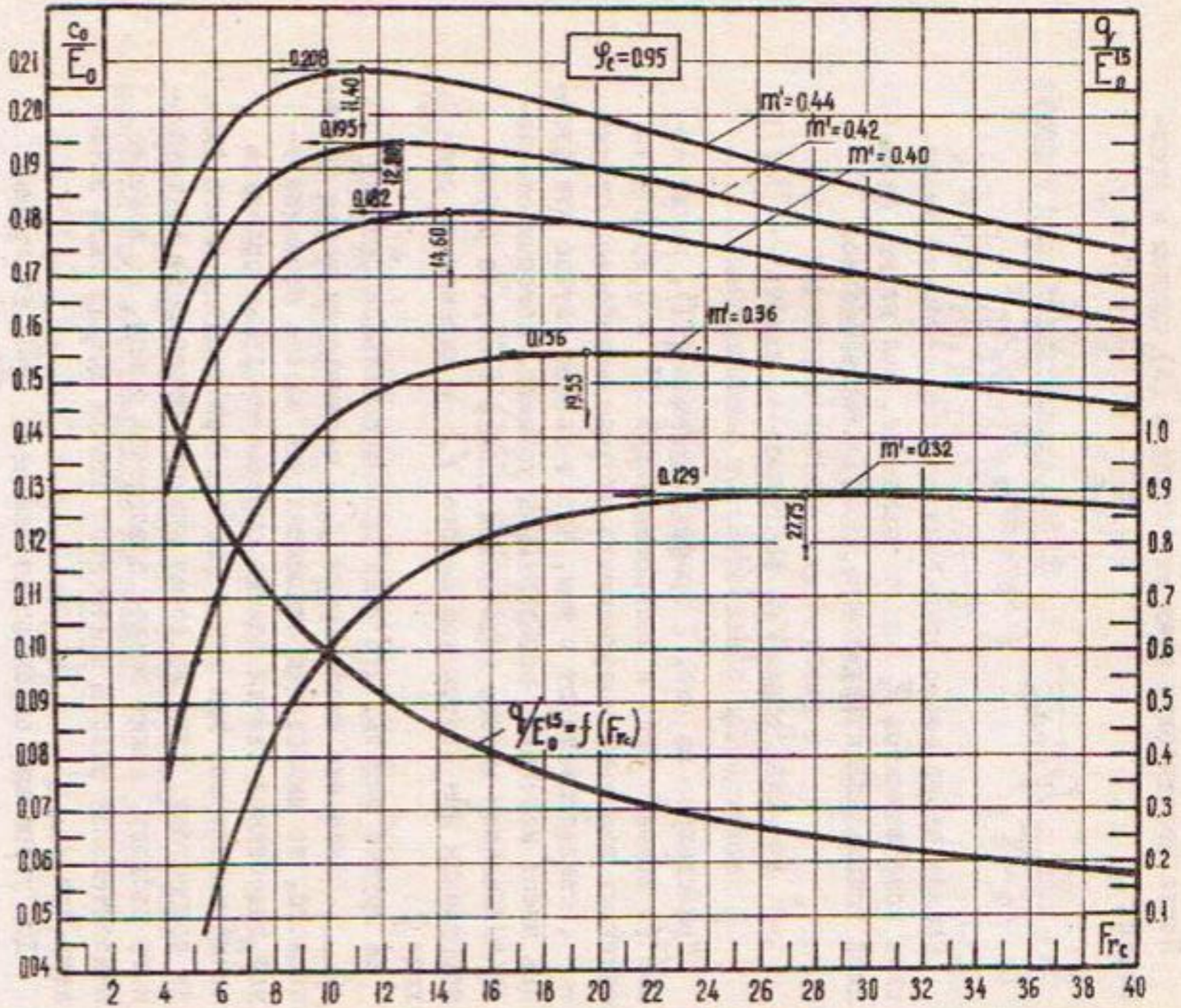


Рис.2.График зависимости $\frac{C_0}{E_0}=f(Fr_c)$

Пользуясь этой кривой, легко определить значение числа Фруда в сжатом сечении, отвечающее расходу $q_{макс}$ при известном значении напора E_0.

Имея представленные в табличной форме зависимости величин $\frac{c_c}{E_0}$ и $\frac{q}{E_0^{3/2}}$ от числа Фруда Fr_c, можно построить и более удобные графики, выражающие зависимость $\frac{c_c}{E_0}$ непосредственно от $\frac{q}{E_0^{3/2}}$

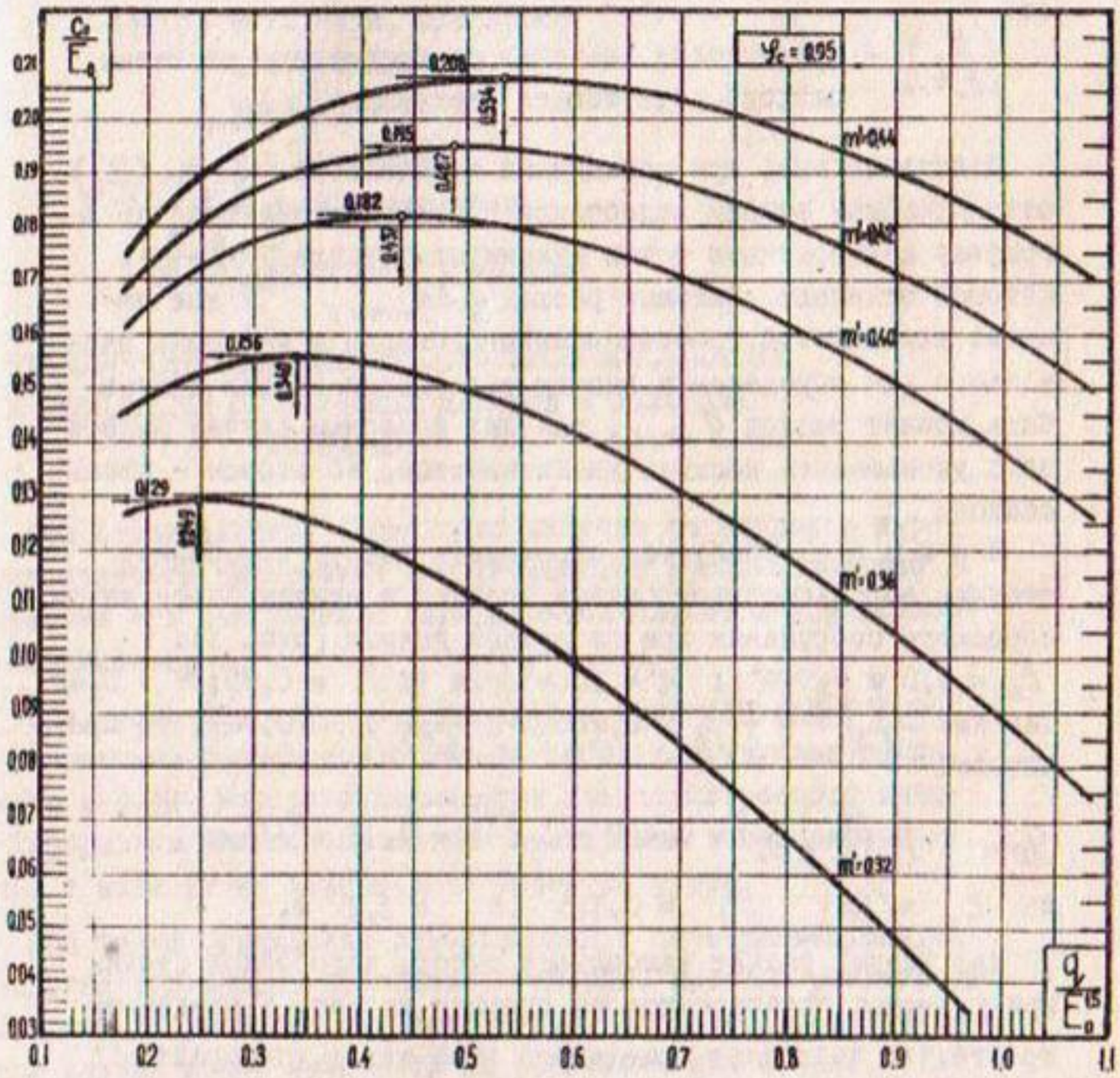


Рис. 3. Расчетный график для определения высоты неподтопленной водобойной стенки

Один такой график, построенный для $\varphi_c = 0{,}95$ и ряда значений коэффициента расхода m' приведен на рис. 3, из которого следует, что расчетные условия для определения высоты водобойной стенки при $E_o = const$ зависят от знака неравенства

$$\frac{q_{макс}}{E_o^{3/2}} \gtrless \left(\frac{q}{E_o^{3/2}}\right)_k , \qquad (13)$$

где $\left(\frac{q}{E_o^{3/2}}\right)_k$ – критическое значение относительной величины расхода, отвечающее значению $\left(\frac{C_o}{E_o}\right)_{макс}$

Действительно, при соблюдении неравенства $\frac{q_{макс}}{E_o^{3/2}} > \left(\frac{q}{E_o^{3/2}}\right)_k$ относительная высота водобойной стенки определяется по графику как ордината точки максимума функции $\frac{C_o}{E_o} = f\left(\frac{q}{E_o^{3/2}}\right)$, которой отвечает удельный расход $q < q_{макс}$, и при наличии неравенства противоположного смысла в качестве расчетного для определения высоты водобойной стенки должен быть принят расход $q_{макс}$, так как в первом случае высота ее с уменьшением расхода увеличивается, во втором – уменьшается.

П р и м е р. Требуется определить высоту водобойной стенки, образующей водобойный колодец в нижнем бьефе водосбросного сооружения при следующих данных (рис. I):
$E_o = 6{,}0$ м $= const$; $q = 10$ м^3(с.м); $\varphi_c = 0{,}95$; $m' = 0{,}42$.
Так как $\frac{q_{макс}}{E_o^{3/2}} = \frac{10}{6^{3/2}} = 0{,}680 > \left(\frac{q}{E_o^{3/2}}\right)_k = 0{,}487$, то принимаем:

$$q_{расч} = \left(\frac{q}{E_o^{3/2}}\right)_k E_o^{3/2} = 0{,}487 \cdot 6^{3/2} = 7{,}16 \text{ м}^3/(\text{с.м})$$

и $C_o = \left(\frac{C_o}{E_o}\right)_{макс} E_o = 0{,}195 \cdot 6 = 1{,}17$ м.

Как видим, расчет наибольшей высоты водобойной стенки при $E_o = const$ производится по графику на рис. 3 предельно просто, что позволяет предложить этот метод для практического применения.

Литература

I.Угинчус А.А. -Гидравлика нижнего бьефа гидротехнических сооружений.ГОНТИ,М.,Л.,1938.

2.Чугаев Р.Р.Гидравлика. "Энергия",Л., 1975.

А.М.МУХАМЕДОВ
доктор техн.наук, профессор
Х.А.ИРМУХАМЕДОВ
канд.техн.наук
Г.И.ЧЕРНИКОВА
мл.научн.сотрудник

(САНИИРИ им.В.Д.Курина)

ТРАНСПОРТИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ РУСЛОВОГО ПОТОКА И ДЕФОРМАЦИЯ СПРЯМЛЯЮЩЕЙ ПРОРЕЗИ В УСЛОВИЯХ АМУДАРЫ

При строительстве спрямлений излучин на Амударье широко используется саморазмыв для разработки русла. Характер деформации при саморазмыве определяется способом осуществления спрямления.

При пуске без перекрытия излучины первоначальный прокоп спрямления должен представлять собой действующее русло, размеры и форма которого характерны для естественного потока. Деформации такого спрямления происходят в паводковый период и аналогичны деформациям бытового русла.

При пуске спрямления одновременно с перекрытием излучины выполняется прокоп небольшого сечения, который размывается потоком до размеров бытового русла. Процесс саморазмыва в этом случае можно разделить на следующие два этапа:

период так называемого строительного саморазмыва - расширение первоначально проложенной пионерной траншеи до размеров бытового русла;

период работы спрямления как бытового русла.

В перечисленных выше случаях размыв происходит в результате увеличения транспортирующей способности потока в одном случае за счет увеличения жидкого стока, в другом - скорости и уклона.

Для расчета размеров спрямляющей прорези необходимо уточнить существующие зависимости для транспортирующей способности потока (I, 2, 3).

С этой целью, используя метод графических построений и множественный корреляционный анализ, была рассмотрена связь между безразмерными комплексами $\frac{hgi}{U^2}$ и $\frac{v}{u}$.

При построении графика (рис.I) использовались данные натурных исследований на Амударье в створе Кизыл-Аяк и Тюя-Муюн, а также результаты модельных исследований, проведенных в САНИИРИ Ю.Г.Иваненко, Р.Р.Абдурауповым и В.А.Скрыльниковым. Точки на графике разделяются вдоль линий с показателем степени $x = 2$ по значению $\left(\frac{1}{S}\right)^{1/3}$, где $S = \frac{\rho}{\gamma_н}$ - относительная мутность или "концентрация взвеси".

Обработка опытных данных методом множественного корреляционного анализа производилась на ЭВМ БЭСМ-4М. Выданные на печать коэффициенты уравнения регрессии

$$\frac{v}{u} = a_0 S^{a_1} \left(\frac{hgi}{u^2}\right)^{a_2} \qquad (I)$$

близки к полученным их значениям графическим способом.

Коэффициент ур-я регрессии	Графический способ	МКА
a_0	I78	I78
a_1	$\frac{I}{3}$	0,3I
a_2	0,5	0,47

Значение коэффициента корреляции $R = 0,93$ и среднеквадратичное отклонение $S = 0,134$ указывают на то, что между рассматриваемыми аргументами существует тесная связь.

Исходя из результатов оценки принятой критериальной зависимости (I), формула относительной мутности взвешенных наносов может быть представлена в виде

$$S = \left(\frac{1}{178}\right)^2 \frac{v^3}{(hgi)^{1,5}} \qquad (2)$$

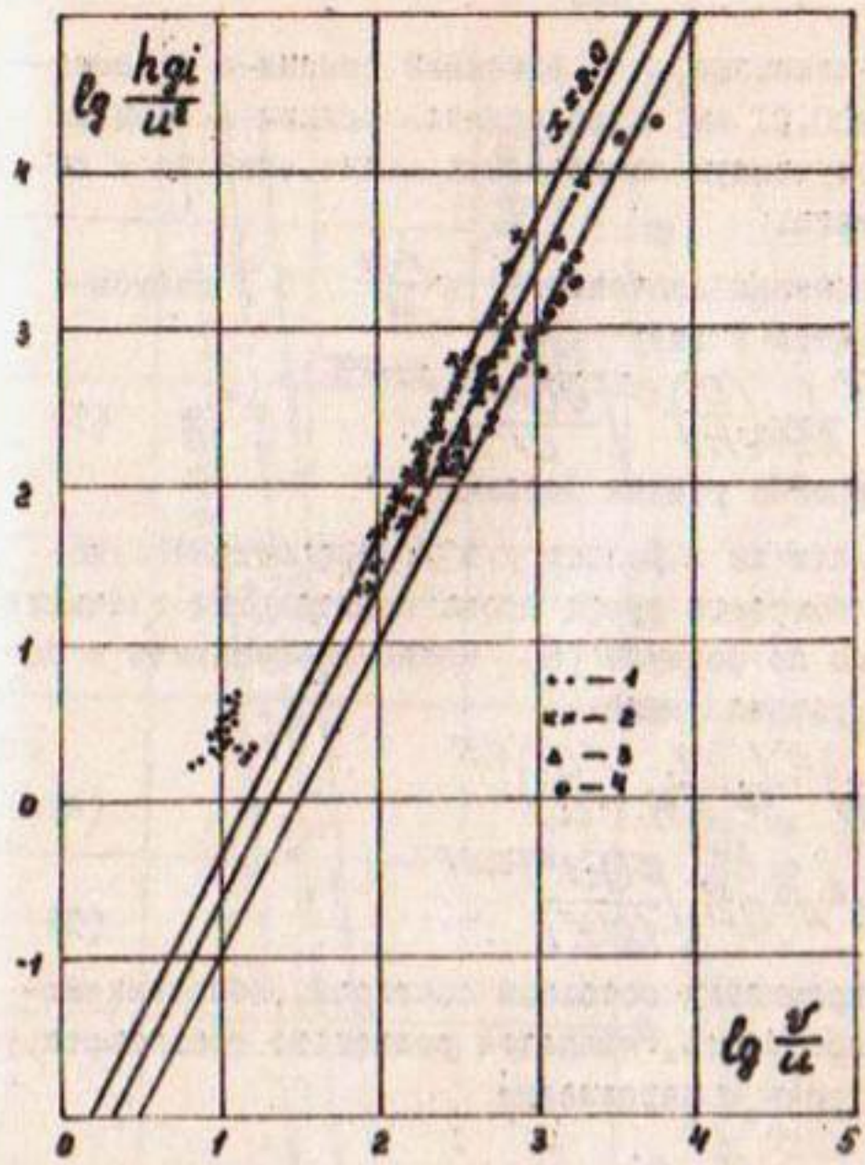


Рис.I. График зависимости $S = K\frac{v^3}{(hgi)^{\omega}}$
(I - песчаная русловая модель ρ =0,02÷0,9 кг/м^3,
2 - ρ = I ÷ 2 кг/м^3, 3 - ρ =3÷4 кг/м^3,
4 - ρ = 5 ÷ 6 кг/м^3).

Если принять во внимание, что движение донных и взвешенных наносов ($d \geq 0{,}01$ мм) определяется одними и теми же факторами, то полученную зависимость можно отнести к общей мутности потока.

После подстановки значений $\frac{v}{u}$ и $\frac{hgi}{u^2}$ / 5 / зависимость (I) приводится к виду

$$S^{2/3} = \left(\frac{1}{178}\right)^2 \frac{1}{A^{2.5}} \left(\frac{B}{h}\right)^{0.5} \left[\frac{Q(gi)^2}{u^5}\right]^{0.125} \qquad (3)$$

где A - коэффициент режима потока.

Опубликованные же в работе / 5 / морфометрические зависимости для бытового русла после подстановки значения $\frac{B}{h}$, полученного по формуле (3), можно представить в более удобном для расчета виде

$$h = \left(\frac{1}{178}\right)^2 \frac{1}{A^2} \frac{1}{S^{2/3}} \left(\frac{Q}{u}\right)^{0.5} \qquad (4)$$

$$B = 178^2 A^3 S^{2/3} \left[\frac{Qu^3}{(gi)^2}\right]^{0.25} \qquad (5)$$

При пуске спрямления основным фактором, обеспечивающим его жизнеспособность, является равенство транспортирующей способности реки и спрямления

$$S = S_c \qquad (6)$$

График зависимости (3) (рис.2) показывает, что различные по величине потоки могут иметь одинаковую транспортирующую способность. Соотношение гидравлических элементов реки и спрямления при условии (6) определяется путем совместного решения уравнений (4) и (5)

$$B_c = B_p \frac{Q_c}{Q_p} \left(\frac{h_p}{h_c}\right)^{1.5} \left(\frac{i_p}{i_c}\right)^{0.5} \qquad (7)$$

Задаваясь расходом пионерного прокопа не менее 40 ÷ 50% от расхода реки, по этой зависимости определяется необходимая ширина прокопа при $h_p = h_c$.

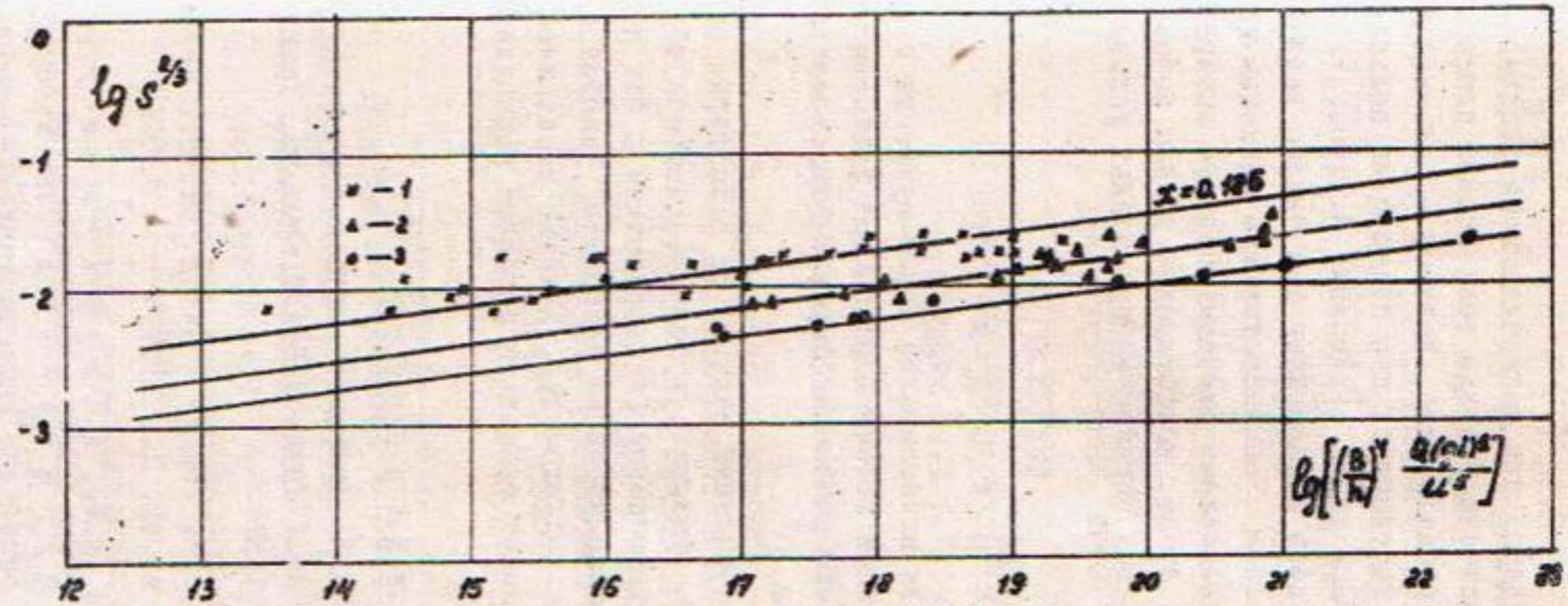


Рис.2. График зависимости $S^{2/3}=K\frac{1}{A^{2.5}}\left(\frac{B}{h}\right)^{0.5}\left[\frac{Q(gQ)^2}{U^5}\right]^{0.125}$
(I - A = 0,6 ÷ 0,7, 2 - A = 0,8 ÷ 0,85, 3 - A = I,0)

В условиях Амударьи при незначительной величине коэффициента извилистости участка реки ширина пионерного прокопа получается значительной. Поэтому в большинстве случаев спрямление выполняется при подпоре на подходном участке, увеличивающем уклон спрямления и глубину входного сечения. Задаваясь несколькими значениями величины подпора Z, определяем соответствующие величины h_c, i_c, A_c и B_c. Оптимальное значение подпора выбирается после оценки ширины русла, коэффициента режима потока и стоимости осуществления спрямления при данных условиях.

В ы в о д ы

I. В результате исследования связи мутности с гидравлическими элементами потока и основными факторами руслового процесса получены расчетные формулы для определения размеров спрямления.

2. Практика спрямлений излучин на р.Амударье показала, что необходимо развивать и совершенствовать оба способа осуществления спрямления (с перекрытием и без перекрытия), так как в зависимости от конкретных условий (для спрямления, плановое расположение, наличие механизмов и др.) каждый из них может оказаться наиболее рациональным.

Л и т е р а т у р а

I. А б а л ь я н ц С.Х. Движение взвесей в открытых потоках. Труды САНИИРИ, вып.96, Ташкент, I958.

2. К а р а у ш е в А.В. Теория и методы расчета речных наносов, Л., I977.

3. М у х а м е д о в А.М., А б д у р а у п о в Р.Р., Н у р и т д и н о в З.Н. К вопросу определения транспортирующей способности потока при движении песчаных наносов. Труды САНИИРИ, вып.I47, Ташкент, I97

4. Ирмухамедов Х.А., Черникова Г.И. Расчет ионерных прокопов при спрямлении излучин в условиях р.Амударьи. Труды САНИИРИ, вып.152, Ташкент, 1977.

5. Черникова Г.И. К вопросу о морфометрических закономерностях р.Амударьи, Труды САНИИРИ, вып.146, ч.I, Ташкент, 1975.

А.М.МУХАМЕДОВ,
докт. техн. наук, проф.

Т.ЖУРАЕВ
канд.техн.наук, ст.научн.сотр.

(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

ВЛИЯНИЯ НАСЫЩЕННОСТИ НАНОСАМИ НА КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА

Закономерности движения чистого потока и потока с наносами резко отличаются. Движение наносов представляет одну из ключевых задач гидравлики. Поэтому изучение закономерности движения наносов и влияния насыщенности наносами на кинематические характеристики потока всегда представляло большой интерес и привлекало внимание многих исследователей / I, 2, 3 /.

Предлагаемая работа содержит результаты экспериментальных исследований и представляет попытку изучить изменения кинематической структуры потока в зависимости от насыщения его наносами. Исследования проводились в гидравлической лаборатории Ордена Трудового Красного Знамени Среднеазиатского научно-исследовательского института ирригации им.В.Д.Журина.

Опытная установка представляет собой стеклянный лоток прямоугольного сечения шириной 0,40 м, высотой 0,70 м, длиной 10 м с переменным уклоном (рис.I).

Измерительная аппаратура, применявшая в опытах, была обычной для лабораторных условий. Для измерения расхода

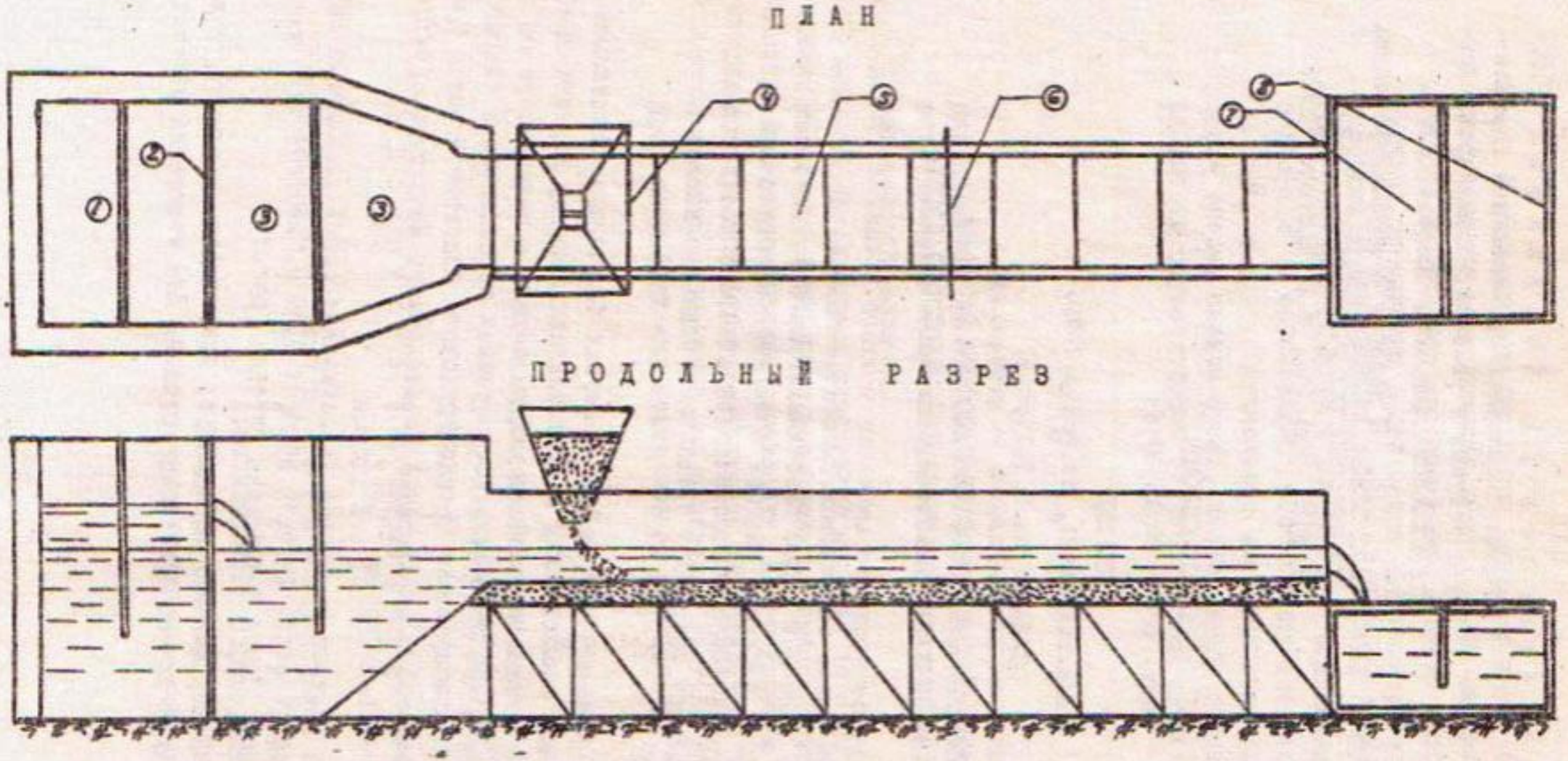


Рис.I Схема экспериментальной установки

I- Питающий бак, 2-трапецеидальный водослив, 3 - успокоители,
4- бункер для песка, 5- стеклянный лоток, 6- створ измерений,
7- отстойник, 8- трапецеидальный водослив.

021

воды использовался трапецеидальный водослив, установленный в стенке питающего бака, для измерения уровней воды, глубин - мерная игла и нивелир, скоростей - микровертушка. В качестве размываемого материала и наносов на модели использован песок.

Фракционный состав, средний диаметр частиц, удельный и объемный веса песка приведены в табл. I.

Таблица I

Физико-механическая характеристика песка

Размер фракций в мм и содер. в %					$d_{ср}$ песка, мм	Удельный вес, т/м	Объемный вес, т/м³
2-I	I-0,5	0,5-0,25	0,45-0,I	0,I			
0,5	I,95	76,75	I5,90	4,90	0,34	2,50	I,66

Для проведения измерений был избран створ в 5 м от начала лотка, обеспечивающий гидродинамическую стабилизацию движения потока.

Расчетные расходы воды устанавливались отсчетом по тарировочной кривой $Q=f(H)$ мерного водослива установки. Расход воды регулировался входной задвижкой "Лудло" приемного бака.

Исследования состояли из двух серий опытов. В первой они проводились с целью установления распределения скоростей по глубине потока и определения сопротивления русла в условиях однородного потока (расход воды, равный I0, I5, 20, 25 л/с), во второй серии - в условиях двухфазного потока с постепенным увеличением его насыщенности наносами. Расход воды был равным I0 л/с, а расход наносов увеличивался от опыта к опыту - 0,I; 0,23; 0,5; 2,5 и 5,0 г/л.

Чистый поток служил эталоном, с которым сопоставлялись результаты наблюдений, полученные при движении наносов. Проведение этих исследований диктовалось необходимостью определения характера изменения скоростного поля и сопротивления движению воды, возникающих в результате движения в потоке твердых частиц.

В первой серии опытов с чистой водой при каждом расходе были измерены продольные скорости по глубине и гидравлические элементы потока. Обработка полученных данных показала, что распределение скоростей по глубине потока и сопротивление движению воды (табл.2) в данных условиях изменялись незначительно.

Таблица 2

Гидравлические характеристики чистого потока на лотке по данным экспериментальных исследований

Q $м^3/с$	$h_{ср}$ м	$U_{ср}$ м/с	J %	C $м^{0,5}/с$	n
0,0I	0,074	0,338	0,0008	44,0	0,0I5
0,0I5	0,089	0,422	0,00I	44,6	0,0I5
0,020	0,I04	0,48I	0,00I4	40,0	0,0I7
0,025	0,II7	0,534	0,00I6	39,0	0,0I7

Во второй серии опытов при расходе наносов 0,I г/л происходило медленное перемещение мелких частиц. В последующих опытах наблюдалось интенсивное движение частиц и начало образования рифелей и гряд, достигших максимума при расходе наносов примерно 0,5 г/л.

Анализ результатов проведенных опытов показывает, что чистый поток имеет более выравненную эпюру скоростей. Для потока с наносами характерно снижение величины приданной скорости.

Отмеченное искажение профиля скорости для потока с наносами отражает вполне закономерное явление, проявляющееся в том, что передвижение наносов в потоке в придонной области вызывает перераспределение скоростей и уменьшение их значения в придонном слое за счет дополнительно возникших сопротивлений (рис.2).

При прочих равных условиях поток с наносами характеризуется большим значением гидравлическим уклоном по сравнению с потоком чистой воды. Это обстоятельство свидетель-

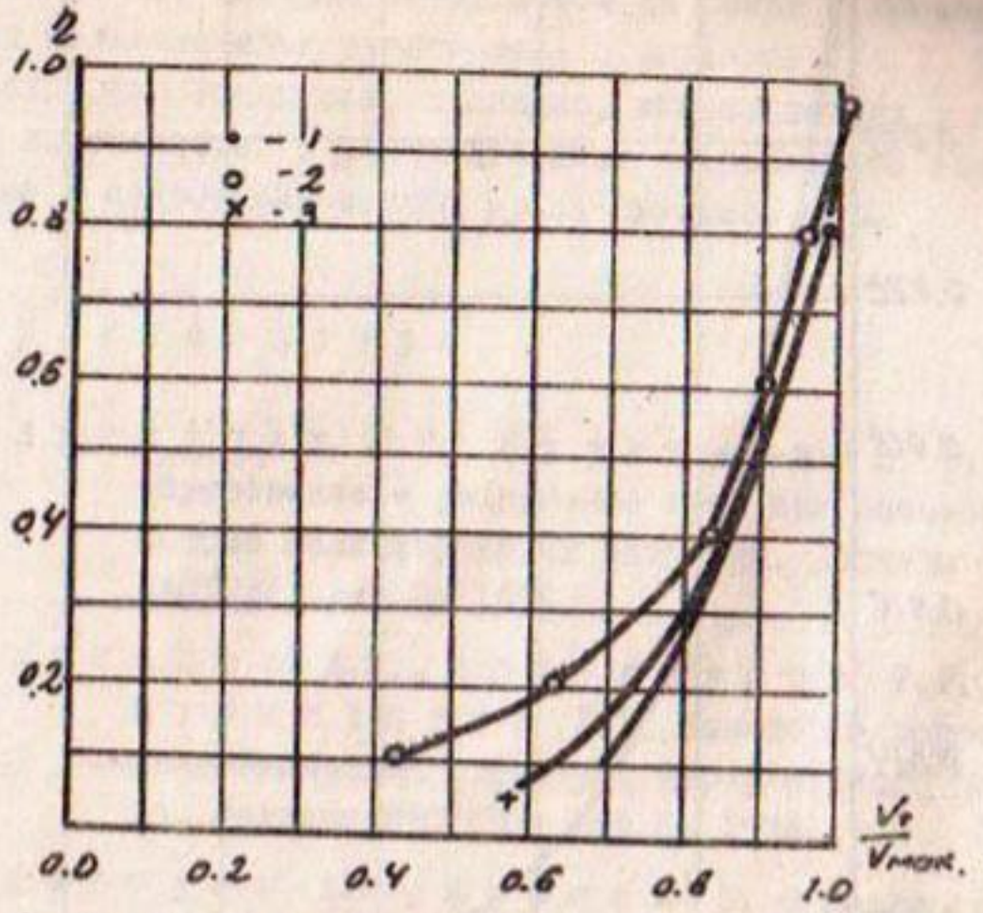


Рис.2. Эпюры распределения скоростей по вертикали

I- Чистый поток,2-поток с наносами ρ=0,5г/л,
3- при максимальной насыщенности ρ = 5,0 г/л

ствует о том, что перемещение потоком взвешенных и донных наносов сопровождается увеличением потерь на трение по сравнению с чистым потоком и требует дополнительных затрат энергии на транспортирование наносов в нижних слоях потока.

По мере увеличения насыщенности потока наносами 2,5 г/л (табл.3) наблюдалось постепенное уменьшение высоты гряд и выравнивание дна, что привело к постепенному уменьшению коэффициента шероховатости (рис.3).

Таблица 3

Гидравлические характеристики взвесенесущего потока на лотке по данным экспериментальных исследований

Q м³/с	ρ г/с	$h_{ср}$ м	$U_{ср}$ м/с	J %	C $м^{0,5}/с$	n
0,010	I,0	0,025	0,262	0,0014	27,6	0,024
0,010	2,3	0,081	0,308	0,0018	30,8	0,021
0,010	25,0	0,078	0,422	0,0030	33,3	0,020
0,010	25,0	0,044	0,562	0,0040	46,8	0,012
0,010	50,0	0,035	0,714	0,0068	50,2	0,011

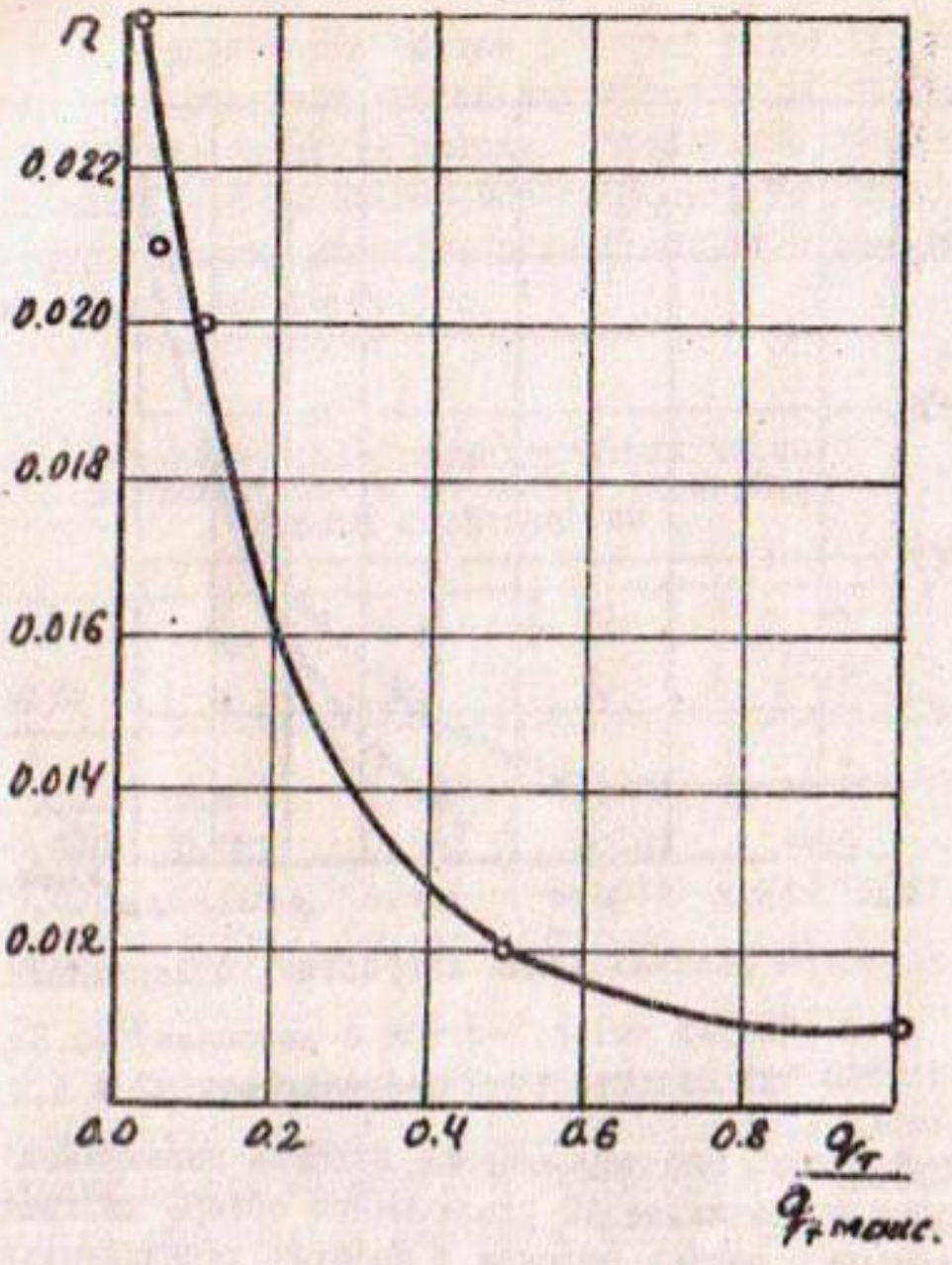


Рис. 3 График изменения коэффициента шероховатости от насыщенности потока наносами ($q_т$ удельный расход наносов $q_{т\,макс}$ максимальный удельный расход наносов.

Дальнейшее увеличение насыщенности потока наносами от 2,5 до 5,0 г/л привело к полному исчезновению гряд и выравниванию дна. На дне образовался подвижный слой, это привело к резкому уменьшению коэффициента шероховатости. Кроме того, наблюдалось увеличение придонных скоростей и выравнивание эпюры (рис.2, 3).

Аналогичная картина наблюдается на реках с легкоразмываемым мелкопесчаным руслом типа р.Амударьи / 3 /. Изменчивость русл таких рек, очевидно, взаимосвязана с кинематикой потока, т.е. с распределением скоростей по глубине потока и сопротивляемостью русла движению воды.

Литература

I. Абдураупов Р.Р., Нуритдинов З. Образование и разрушение гряд при насыщении потока мелкопесчаными наносами. Доклады ВАСХНИЛ, вып.2, 1975.

2. Мухамедов А.М., Абдураупов Р.Р., Нуритдинов З.Н. Некоторые вопросы кинематической структуры турбулентного потока. Доклады ВАСХНИЛ, вып.8, 1974.

3. Мухамедов А.М., Хураев Т. О коэффициенте шероховатости р.Амударьи. Тр. САНИИРИ, вып.I35, 1972.

4. Окулова З.Н. Влияние донных наносов на кинематические характеристики безнапорного турбулентного потока. Научные записки, т. XXIII, М., I960.

В.А.СКРЫЛЬНИКОВ
канд.техн.наук, ст.научн.сотр.
Т.Ю.ГУБИНА
мл.научн.сотр.
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ МАСШТАБОВ РАЗМЫВАЕМЫХ МОДЕЛЕЙ РУСЛ РЕК С ИСКАЖЕНИЕМ ПАРАМЕТРА КИНЕТИЧНОСТИ

В настоящее время общепризнанными являются методы моделирования, основанные на формулах, в которых исполь-

ается условие $F_r = idem$. Однако известны рекомендации / 1, 2 / по расчету основных масштабов моделей при условии искажения параметров кинетичности $F_r \neq idem$ (несоответствие параметра кинетичности модели и натуры).

Поэтому в настоящей работе приводится методика моделирования размываемых русл рек и каналов, которая позволяет выявить необходимость и возможную степень искажения на модели параметра кинетичности.

Продольное искажение можно определить по соотношению формул коэффициента сопротивления модельного русла натурному

$$\frac{\lambda_м}{\lambda_н} = \frac{2g h_м i_м v_н^2}{v_м^2 2g H_н J_н} = \frac{i_м (F_r)_н}{J_н (F_r)_м} \frac{\alpha_{h_1}}{\alpha_i} = \frac{\alpha_e}{\alpha_h} \cdot \alpha_{F_r}, \qquad (I)$$

где $\alpha_i = \frac{\alpha_h}{\alpha_e}$; $\alpha_{F_2} = \frac{F_{2н}}{F_{2м}}$,

В работах / 3, 4 / по натурным и лабораторным данным для определения коэффициента сопротивления получены соответствующие формулы:

$$\lambda_н = (K_\lambda)_н \cdot F_r^{-1.3} \qquad (2)$$

$$\lambda_м = (K_\lambda)_м \cdot F_r^{-1.3} \qquad (3)$$

Составляя соотношения формулы (3) и (2), получим

$$\frac{\lambda_м}{\lambda_н} = \frac{(K_\lambda)_м}{(K_\lambda)_н} \cdot \alpha_{F_r}^{1.3} \qquad (4)$$

Решая (4) и (I), получим

$$\frac{\alpha_e}{\alpha_h} = \frac{(K_\lambda)_м}{(K_\lambda)_н} \cdot \alpha_{F_r}^{0.3} \qquad (5)$$

Для того, чтобы на модели иметь плановый масштаб, поперечный масштаб следует принять равным продольному.

Из выражения (5) можно получить зависимость следующего вида:

$$\alpha_l = \alpha_e = \alpha_h \frac{(K_\lambda)_м}{(K_\lambda)_н} \cdot \alpha_{F_r}^{0.3} \qquad (6)$$

Для масштаба скорости, учитывая соотношения

$$\alpha_{F_r} = \frac{(F_r)_н}{(F_r)_м} \quad и \quad F_r = \frac{v^2}{gH},$$

можно записать выражение

$$\alpha_v = \sqrt{\alpha_{F_r} \cdot \alpha_h} = \sqrt{\alpha'_h}, \qquad (7)$$

где α_h - масштаб глубин для $F_r = idem$ ($\alpha_{F_r} = 1$).

Из (7) масштаб глубин для условия $F_r \neq idem$ определится по формуле

$$\alpha'_h = \alpha_{F_r} \cdot \alpha_h \qquad (8)$$

Масштаб погонного расхода воды определится по известному выражению

$$\alpha'_{q_п} = (\alpha'_h)^{1.5} \qquad (9)$$

В работах / 4, 5 / для мелкопесчаных моделей с закрепленными берегами получена формула по определению глубины лабораторного русла следующего вида:

$$h = K_h (q_п)_м^{0.61}$$

Параметр K_h находим из зависимости

$$K = 0{,}34 - 0{,}184\rho^{0.6} \qquad (11)$$

Коэффициент пропорциональности в формуле (3) определяется по зависимости вида / 4, 5 /

$$(K_\lambda)_м = 0{,}000414 + 0{,}0087\rho^{0{,}872} \qquad (12)$$

Параметр $(K)_н$ в формуле (2) принимает конкретное численное значение для каждого створа. Его можно определить по графику $\lambda = f(F_r)$, построенному по натурным данным на логарифмической бумаге.

Удельное насыщение модельного потока наносами определяется по формуле / 5 /

$$\rho = \left[1.845 - 5.43 \frac{(q_п)_м^{0,0567}}{(gF_r)^{0,333}}\right]^{1.67}, \qquad (13)$$

где $(q_п)_м$ и F_r находим по наибольшим значениям расхода натуры.

При $\rho = 0$ из формул (10) и (11) -

$$h = 0{,}34 (q_n)_м^{0.61} \qquad (14)$$

Решая совместно (14) и известное выражение для параметра кинетичности

$$(Fr)_{\rho=0} = \frac{(q_n)^2_{\rho=0}}{gh^3},$$

получим соотношение в формуле (13) между q и Fr при $\rho = 0$ в виде

$$(F_r)_{\rho=0} = \frac{(q_n)^2_{\rho=0}}{g(0{,}34\, q_{n_{\rho=0}}^{0{,}61})^3} \cong 0{,}0260 (q_n)^{0.17}_{\rho=0} \qquad (15)$$

Для моделей, где в качестве наносов применяются древесные кальцинированные опилки, глубина потока изменяется по формуле

$$h = K_h' \sqrt{\frac{\bar{w}}{g}} \sqrt{\frac{q}{b}}, \qquad (16)$$

где $\bar{w}$ - гидравлическая крупность наносов;
g - ускорение силы тяжести;
b - ширина модели;
q - расход воды на модели.

Параметр K_h' в формуле (16) определяется по следующей зависимости

$$K_h' = 24 - 36 \left(\frac{\rho}{\gamma}\right)^{0.231}, \qquad (17)$$

где γ - удельный вес воды, г/л;
ρ - мутность модельного потока, г/л

Относительное удельное насыщение модельного потока наносами находим по формуле

$$\frac{\rho}{\gamma} = \left[0{,}693 - 0{,}0289 \frac{q_n^{1/6}}{(gF_r)^{1/3} \sqrt{\frac{w}{g}}}\right]^{4.33} \qquad (18)$$

Соотношение между q_n и F_r в формуле (18) при $\rho = 0$ равняется:

$$F_{r_{\rho=0}} = \frac{q_{n_{\rho=0}}^{1/2}}{g\left(24\sqrt{\frac{\bar{w}}{g}}\right)^3} \qquad (19)$$

Коэффициент сопротивления модельного русла определяется по формуле (3) с параметром $(K_\lambda)_м$ по выражению следующего вида:

$$(K_\lambda)'_м = 0{,}00012 + 0{,}023\left(\frac{\rho}{\gamma}\right)^{0{,}91} \qquad (20)$$

Примеры расчета для $F_r = idem$ приведены в работе / 4 /.

Рассмотрим несколько примеров расчета для условия

$$F_r \neq idem$$

а) Мелкопесчаные модели с закрепленными берегами.

В работе / 4 / приведен детальный расчет масштабов моделей Амударьи для створов Тюямуюн и Карамышган для случая $F_r = idem$ и получено хорошее сходство результатов пересчета модельной глубины с натурными данными, представленными на рис.I а, б.

Для створа Тюямуюн использованы следующие данные: расходы воды 2000 - 5000 м^3/с, $F_{r\,м} = 0{,}125$ (при $Q = 5000$ м^3/с), $\alpha_h = 50$, $\alpha_{q_н} = 50^{1{,}5} = 354$, $B_н = 800$ м.

Для створа Карамышган использованы данные: расходы воды 1000-4000 м^3/с, $F_{r\,м} = 0{,}1$ (при $Q = 4000$ м^3/с) $\alpha_h = 50$, $\alpha_q = 354$, $B_н = 720$ м.

При расчетах на условие $F_r = idem$ для створа Тюямуюн приняты: $F_{r\,м} = 0{,}1$, $\alpha_{f_r} = 1{,}25$ и $F_{r\,м} = 0{,}167$ $\alpha_{f_r} = 0{,}75$. Масштаб глубин $\alpha_h = 62{,}5$ и $\alpha_h = 37{,}5$.

Для створа Карамышган приняты:

$F_{r\,м} = 0{,}08$ и $\alpha_{f_r} = 1{,}25$; $F_{r\,м} = 0{,}133$ и $\alpha_{f_r} = 0{,}75$.
Масштабы глубин $\alpha'_h = 62{,}5$ и $\alpha'_h = 37{,}5$.

Глубины модельного потока по формуле (10) для двух погонных расходов модели, соответствующих двум расходам натуры при значениях $\alpha_{f_r} = 1{,}25$ и $\alpha_{f_r} = 0{,}75$ после пересчета при известном α'_h, нанесены на графики $H = f(Q)$ рис. Iа,б. Как видно на рис.I,а,б, при искажении параметра кинетичности $F_r \neq idem$ в пределах ±25% результаты пересчета отклоняются от данных расчета при $F_r = idem$ и занимают на графиках предельное граничное положение относительно натурных данных. При этом значения глубин при $\alpha_{f_r} = 1{,}25$ располагаются на графике выше данных пересчета при $\alpha_{f_r} = 1$ ($F_r = idem$) и для $\alpha_{f_r} = 0{,}75$ ниже данных пересчета при $\alpha_{f_r} = 1$.

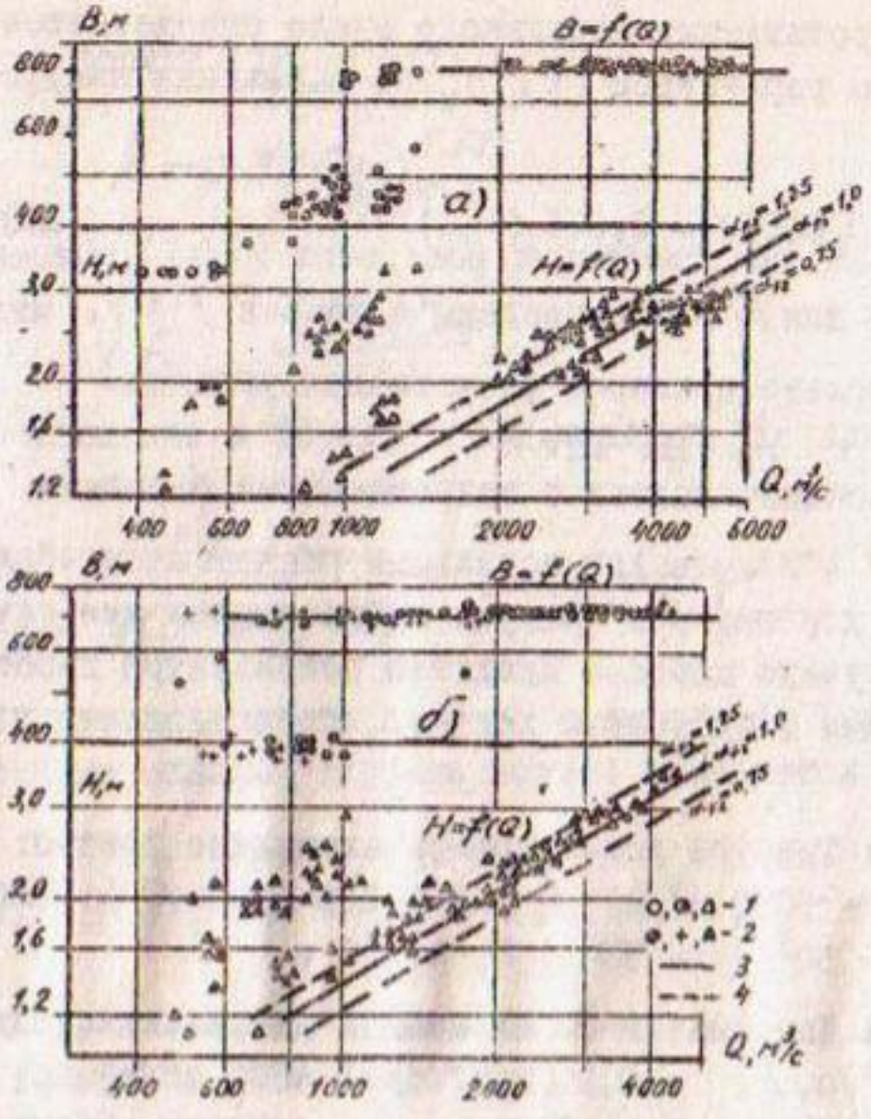


Рис. I. Графики зависимостей B = f (Q) и H = f (Q) Амударьи в створах Тюямуюн (а) и Карамышгаш (б) по пересчету и натурным данным.

Натурные данные: I - I955 г., 2 - I956 г.
Пересчет по формулам морфометрии модельных мелкопесчаных русл с закрепленными берегами: 3 - для условий $\mathcal{L}_{Fr} = I$; 4 - для условий $\mathcal{L}_{Fr} \neq I$.

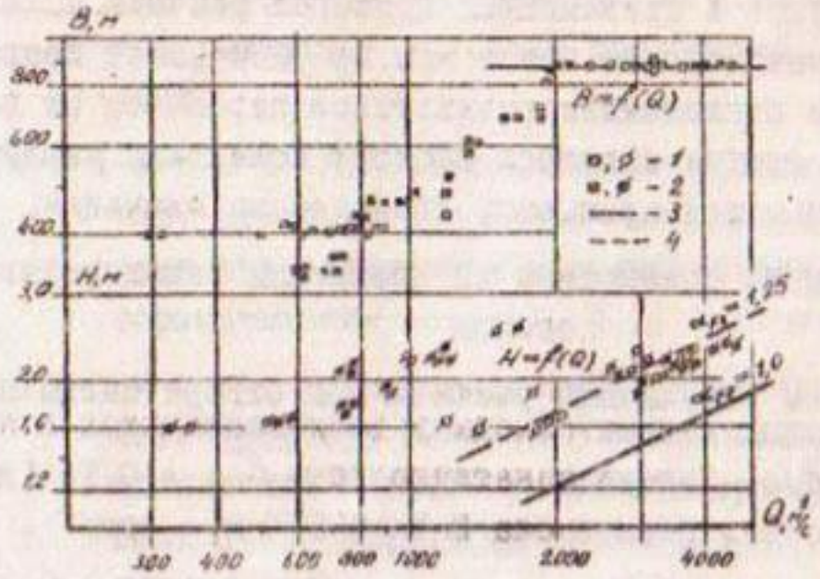


Рис. 2. Графики зависимостей B = f (Q) и H = f (Q) Амударьи в створе Чатлы по пересчету и натурным данным.

Натурные данные: I - 1955 г., 2 - 1956 г.
Пересчет по формулам морфометрий лабораторных русло с наносами из древесных кальцинированных опилок с уплотненными берегами: 3 - для условий $\alpha_{r_0} = I$; 4 - для условий $\alpha_{r_0} \neq I$.

Увеличение в приведенных примерах расчета искажения параметра кинетичности более чем на ±25% может привести к существенным отклонениям результатов пересчета от натурных данных. Для других примеров процент искажения параметра кинетичности может превышать приведенные значения.

б) Модели с наносами из древесных кальцинированных опилок

Приведем результаты расчета для створа Чатлы при следующих исходных данных. Расходы воды изменяются в пределах 2000-4800 м³/с. Параметр кинетичности F_{z_H} = 0,I6 (для Q = 4800 м³/с). Ширина русла $B_н$ = 870 м = const.

Вначале выполнен расчет для α_{F_z} = I ($F_z = idem$) при α_h = 80. Результаты пересчета приведены на рис.2, из которого видно, что модельные глубины для α_{F_z} = I ($F_z = idem$) располагаются на графике $H = f(Q)$ ниже натурных данных. Поэтому следует выполнить расчет с искажением параметра кинетичности, принимая $\alpha_{F_z} > I$.

При значении $F_{z_м}$ = 0,I28 и $F_{z_н}$ = 0,I6 масштаб числа Фруда равен α_{F_z} = I,25. Масштаб глубин α'_h = I,25 · 80 = = I00.

Результаты пересчета для α_{F_z} = I,25 на графике $H = f(Q)$ (рис.2) удовлетворительно совпадают с натурными данными. Таким образом, Амударья на участке створа Чатлы отображается на опилочной модели только при искажении параметра кинетичности.

Изложенная выше методика расчета масштабов может быть использована при моделировании крупных каналов.

Литература

I. Сурова Н.Н. Методика моделирования модели участка русла Амударьи в районе проектируемого Тахиаташского водозаборного гидроузла. "Вопросы гидротехники", вып.6, Ташкент, I962.

2. Знаменская Н.С. Использование малых размываемых моделей рек с поймами для исследования устойчивости русла у водозабора. "Сб.докла-

дов Всесоюзного совещания по водозаборным сооружениям и русловым процессам", Ташкент, 1974.

3. Скрыльников В.А. Методические указания по расчету русловых моделей с мелкопесчаными наносами при искаженном масштабировании (самоформирующиеся модели). ч.I, Ташкент, 1977.

4. Скрыльников В.А. Методические указания по расчету русловых моделей с мелкопесчаными наносами при искаженном масштабировании (модели с закрепленными берегами) ч.П, Ташкент, 1977.

5. Скрыльников В.А. О морфометрических зависимостях и коэффициенте сопротивления лабораторного русла на песчаных моделях с закрепленными берегами. Изв.АН УзССР (серия техн. наук) № I, 1978.

6. Знаменская Н.С. Донные наносы и русловые процессы. Л., 1976.

Г.И.ЧЕРНИКОВА
мл.научн.сотрудник
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СПРЯМЛЕНИЯ ИЗЛУЧИН БЕЗ ПЕРЕКРЫТИЯ РЕКИ[x)]

Спрямление излучин в последнее время относится к числу наиболее распространенных в условиях Амударьи способов оперативного регулирования реки.

Для разработки методики расчета и практических рекомендаций по проектированию и строительству спрямлений были проведены натурные исследования динамики формирования спрямля-

---

x) Работа выполнена под руководством канд.техн.наук Х.А.Ирмухамедова

щих прорезей на Амударье. В дополнение к натурным исследованиям поставлены лабораторные опыты, которые включали воспроизведение спрямления излучины в районе водозаборов Клычбай (1966г.) и Ташсака (1970г.). Кроме того, была проведена серия опытов с целью определения влияния некоторых факторов на осуществление спрямления, установить которые в процессе натурных наблюдений не представлялось возможным.

Опыты проводились на двух моделях по методике, разработанной в отделе русл САНИИРИ / 1, 2 /. На открытой модельной площадке размером 12х37 м в качестве размываемого материала использовался просеянный амударьинский песок (d = 0,16 ÷ 0,18 мм, $\gamma_н$ = 2,35 т/м^3), уложенный слоем 0,5 л. При расходе 6,7 л/с (845 м^3/с) и мутности 0,33 г/л (3 кг/м^3) было воспроизведено бытовое русло участка р.Амударьи в районе головной части каналов Ташсака и Пахтаарна, протяженностью 20 км. Средний по длине уклон водной поверхности на модели составил 0,004, F_z изменялось в пределах 0,025 ÷ 0,09, среднее - 0,05.

Полученные модельные значения F_z и уклона соответствовали натурным. Формирование спрямления излучины осуществлялось при $K_{изв} = \frac{Z_{изл}}{Z_{спр}} = 1,4$ на пионерной траншее шириной 20 см (100 м) и угле отвода 20^0 (рис.1).

Расход модели на подъеме паводка составлял 6,7 л/с (845 м^3/с), 10,6 л/с (1340 м^3/с) и 12,8 л/с (1620 м^3/с). На спаде паводка расход модели был задан: 10,8 л/с (1360 м^3/с), 7,2 л/с (910 м^3/с) и 4 л/с (500 м^3/с).

Насыщение потока наносами изменялось в пределах 0,19÷0,44 г/л. Величины расходов воды и количество подаваемых наносов были близки к средним значениям между сериями замеров в натуре.

Измерения показали, что первоначальный расход спрямления, как и в натуре, не превышал 30÷37% от общего расхода. Визуальные наблюдения за состоянием спрямления в этот период свидетельствовали о появлении отмелей и островов. Для поддержания работы спрямления проводилось регулирование потока на подходном участке, расширение русла и расчистка от наносов по всей длине.

После этих мероприятий относительный расход спрямления достиг 50% (табл.I), занесения русла наносами не наблюдалось. В паводок доля расхода спрямления возрастает, достигая 60% от расхода реки.

Таблица I

Номер створа	л/с	$см^2$	см	см	см/с	
		Опыт I				
6. подходн. уч-к	6,7	373	I75	2,I2	I8,0	0,0030
7. -"-		365	I50	2,40	I8,4	
I. излучина		256	I00	2,56	I8,4	
3. -"-	4,7	262	I20	2,I8	I8,0	0,0030
I0. -"-		256	I00	2,60	I8,4	
I2. спрямление		I50	45	3,3	I3,5	0,004
I4. -"-	2,03	I90	65	2,9	I0,7	
		Опыт 2				
6. пододн.уч-к		374	260	2,2I	I8,5	0,0025
7. -"-	I0,6	562	220	2,55	I8,9	
I. излучина		284	I25	2,27	I8,0	
2. -"-	5.I	286	I40	2,04	I7,9	0,0025
I0. -"-		282	II5	2,46	I8,I	
I2. спрямление	5,5	300	I33	2,25	I8,5	0,0030
		Опыт 3				
6. подходн.уч-к		665	282	2,35	I9,2	0,0025
7. -"-	I2,8	640	230	2,78	20,0	
I. излучина		360	200	I,8	I4,2	
2. -"-	5,I	3I6	I67	I,9	I6,I	0,0020
I0. -/-		282	I55	I,82	I8,I	
I2. спрямление		305	I53	2,52	20	0,0030
I4. -"-	7,7	400	I40	2,85	I9,3	

Изменения основных гидравлических элементов спрямления на модели и в натуре указывают на то, что увеличение поперечного сечения русла происходит за счет возрастания ширины, которая при максимальном расходе спрямления достигла 140 см (700 м), что соответствует натурной ширине русла.

На малой модельной площадке размером 8 м х 20 м, заполненной измельченным керамзитом (d = 0,63 мм, $\gamma_н$ = 1,6 + + 1,7 т/м^3), при расходе 4,5 л/с и мутности 0,27 г/л было воспроизведено бытовое русло участка р.Амударьи в районе головного сооружения канала Клычбай, протяженностью 8 км.

Средний по длине уклон водной поверхности - 0,002, $F_г$ изменялось в пределах от 0,035 до 0,09, среднее - 0,055. Спрямление разрабатывалось из прорези шириной 25 см (125 м) при $K_{изв}$=2 и угле отвода 25^0 / рис.2 /.

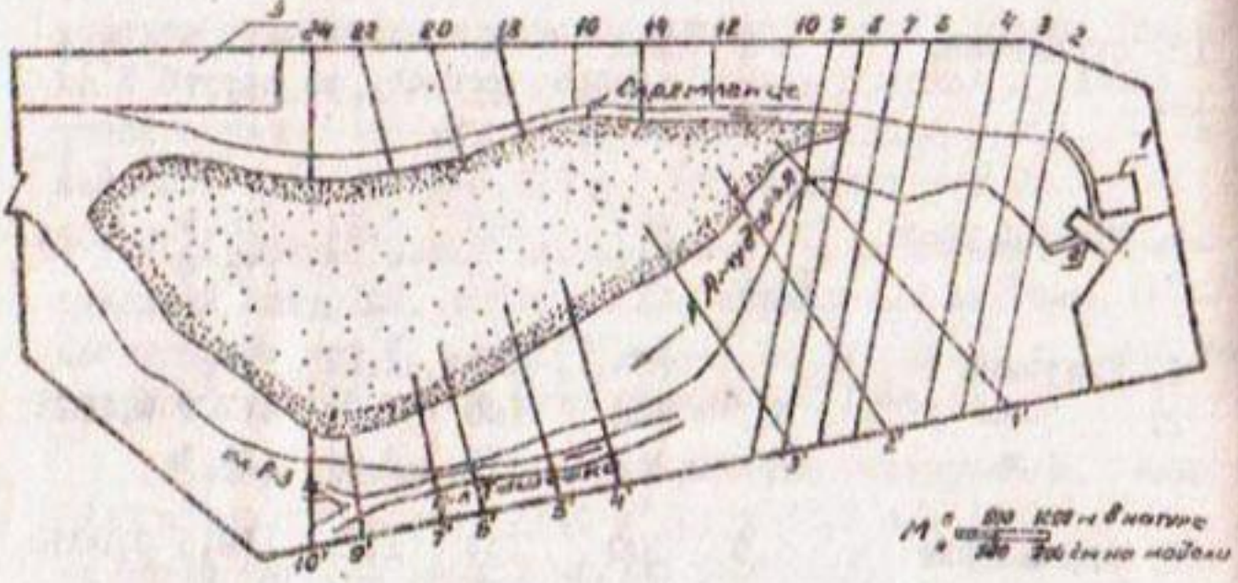


Рис.1. План модели участка р.Амударьи в районе к-ла Ташсака 1970 г. $Q_в$ = 6,7 л/сек (845 м^3/сек) . I - дозатор автоматической подачи наносов, 2 - подводящий поток.

Расход модели на подъеме паводка был принят равным 4,5 л/с (1100 м^3/с), 7,8 л/с (1860 м^3/с), 9 л/с (2200 м^3/с) и 12,6 л/с (3070 м^3/с). Насыщение потока наносами изменялось в пределах 0,27 ÷ 0,42 г/л.

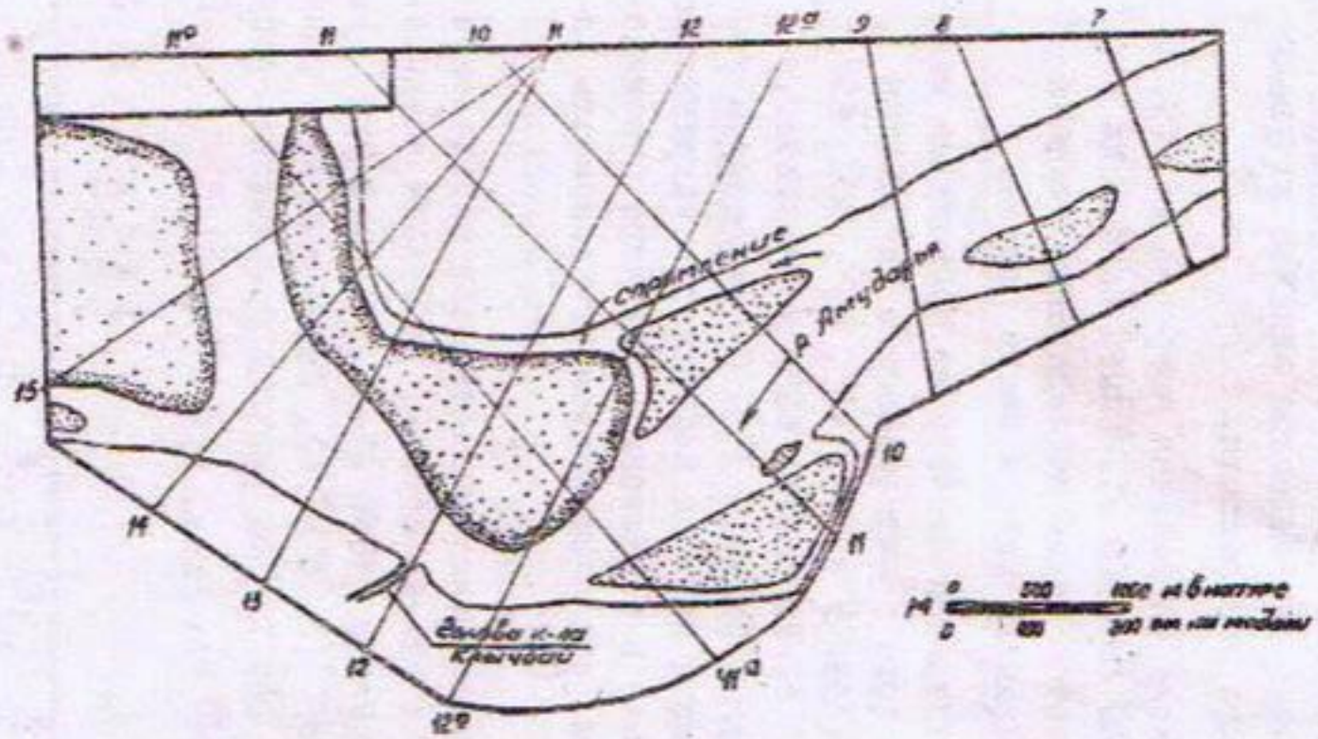


Рис.2. План модели участка р.Амударьи в районе к-ла Кычбай 1967 г. $q_м$ = 4,5 л/сек (1100 м^3/сек).

После 14 ч работы модели при $Q_м$ = 4,5 л/с расход спрямления составил 2,8 л/с, т.е. 62% от расхода реки. Скорость изменялась от 16,4 до 20 см/с, уклон - 0,0031. Это обеспечило транспорт наносов и заиления русла не происходило. В излучине после отвода 62% расхода скорости течения заметно снизились. Опыт показал, что повышение уклона спрямления оказывает существенное влияние на увеличение его транспортирующей способности.

В паводок доля расхода спрямления возросла до 80%, а ширина русла достигла 100 см (500 м). Опыты на модели с керамзитом были продолжены с целью исследования влияния различных факторов на динамику отвода части потока.

Влияние угла отвода трассы пионерного прокопа на величину отводимого расхода воды и интенсивность разработки спрямления исследовалось при $\theta = 35^0, 40^0, 45^0, 50^0, 65^0$. В результате проведенной серии опытов было установлено, что угол отвода не должен превышать 30^0. С увеличением угла отвода трассы пионерного прокопа наблюдается искривление оси речного потока у входа в спрямление, величина отводимого расхода падает до 20%, резко снижается интенсивность саморазработки русла.

Следующая серия опытов была проведена для определения влияния расхода реки на величину отвода. На модели, устанавливались расходы Q_1 = 7,8 л/с (1860 м^3/с), Q_2 = 9 л/с (2200 м^3/с), Q_3 = 12,6 л/с (3070 м^3/с). Первоначальные размеры спрямления и $К_{изв.}$ при каждом расходе принимались постоянными: b = 25 см (125 м), $К_{изв.}$ = 2 (табл.2).

Таблица 2

Номер створа	Q л/с	ω см^2	B см	h см	v см/с	i
1	2	3	4	5	6	7
		Опыт 1				
8. подходн. уч-к		616	180	3,42	12,6	0,0013
9. -"-	7,8	526	150	3,50	14,8	
10. -"-		493	170	2,90	15,8	

1	2	3	4	5	6	7
II[a] излучина		272	90	3,0	I2,5	0,0022
I2, -"-	3,4	283	2I0	I,40	I2,0	
I4. -"-		266	I20	2,22	I2,8	
2. спрямление	4,4	32I	95	3,38	I3,7	0,0032
3. -"-		3I9	95	3,36	I3,8	
	Опыт 2					
8. подходн.уч-к	9,0	642	I90	3,4	I4,0	0,005
9. -"-		630	I80	3,5	I4,3	
II. излучина		462	I60	2,9	I3,0	
II[a] -"-		433	I25	3,4	I3,9	
I2. -"-	6,0	400	90	4,4	I5,I	0,003
I4. -"-		490	I80	2,8	I2,3	
2. спрямление	3	240	83	2,8	I2,6	0,002
3. -"-		25I	90	2,9	I2,0	
	Опыт 3					
8. подходн. уч-к	I2,6	900	I90	4,77	I4,0	0,0035
9. -"-		742	I85	4,0	I7,0	
II. излучина		722	I75	4,I	I3,3	
II[a] -"-		770	I45	5,25	I2,5	
I2. -"-	9,6	653	II0	5,9	I4,7	0,003
I4. -"-		548	II5	4,8	I7,5	
2. спрямление	3	298	70	4,25	I0,I	0,00075
3. -"-		270	75	3,6	II,I	

Если в опыте при $Q_м$ = 4,5 л/с величина относительного расхода равнялась 62%, то при $Q_,$ = 7,8 л/с уже составлял 36% (4,4 л/с). Скорость уменьшилась по сравнению с предыдущим опытом (13,7 см/с против 16,4 см/с), но была еще значительно выше скорости в излучине.

При расходе модели 9 л/с относительный расход снизился до 33% (3 л/с). Визуальные наблюдения показали, что в спрямлении появились отмели. При расходе модели 12 л/с расход спрямления также был равен 3 л/с, т.е. 24% от общего расхода. Скорость, равная 7,3 см/с, и уклон 0,00075 свидетельствовали об отмирании спрямления.

Проведенная серия опытов показала, что размеры пионерного прокопа спрямления определяются прежде всего величиной расхода реки.

Выводы

1. Привлечение в прорезь небольшого расхода одновременно с незначительным увеличением ее уклона по сравнению с рекой приводит к снижению транспортирующей способности потока и отложению наносов в голове прорези. Деформации, вызываемые отложениями наносов, могут привести к отмиранию прорези.

2. Эффективными мероприятиями по борьбе с отложениями наносов при несоответствии транспортирующей способности реки и прорези являются руслорегулировочные и дноуглубительные работы.

3. Доля расхода воды, отводимого по пионерному прокопу, зависит от величины угла отвода. Оптимальное значение $\theta = 30^0$.

4. Чем больше расход реки и мутность потока, тем большей ширины должен быть пионерный прокоп спрямления.

5. Пуск спрямления при низких горизонтах до наступления паводка обеспечивает минимальный объем строительных работ при выполнении пионерного прокопа и саморазмыв спрямления в период увеличения паводкового расхода.

Литература

I. Абдураупов Р.Р. Методика моделирования русла Амударьи у регулировочных сооружений АБК-2. Труды САНИИРИ, вып.I30, Ташкент, I972.

2. Цой Г.А. Уточнение методики моделирования русловых процессов применительно к условиям среднего и нижнего течения Амударьи. Изв. АН УзССР (серия техн. наук), № 6, I968.

С.И.КЕБЕРЛЕ, Б.И.БЕЛЕСКОВ, Л.А.ГЕХТЕР

ПРЕДЕЛЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУХОВОДНОГО ВАРИАНТА КЛАПАНА СРЫВА ВАКУУМА В СИФОННЫХ ВОДОВЫПУСКАХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Натурные исследования на Саятской насосной станции показали перспективность использования воздуховодной трубы для срыва вакуума, преимущества ее по сравнению с другими устройствами, служащими для той же цели.

В результате этих исследований воздуховодные трубы (Д=0,I7 м) были установлены на всех пяти трубопроводах Саятской насосной станции и на трех Яманжарской (с насосами типа ОП-6-87). В настоящее время закончены натурные исследования на каршинских насосных станциях, в результате которых воздуховодные трубы (ϕ = I,02 м) установлены на 6 насосных станциях Каршинского магистрального канала (33 шт.).(Рис.I)

Для определения разности уровней (максимального и минимального) в напорном бассейне насосной установки, при которой воздуховодная труба может служить устройством для срыва вакуума в сифонном водовыпуске, мы предлагаем делать расчет волны понижения давления, возникающей за насосом после его выключения (4). Эта волна воз-

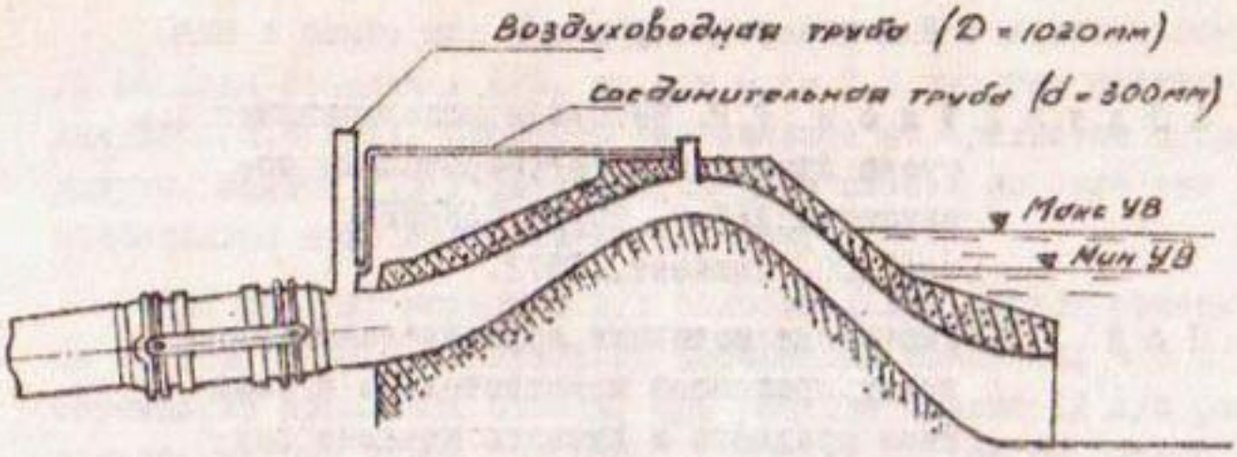
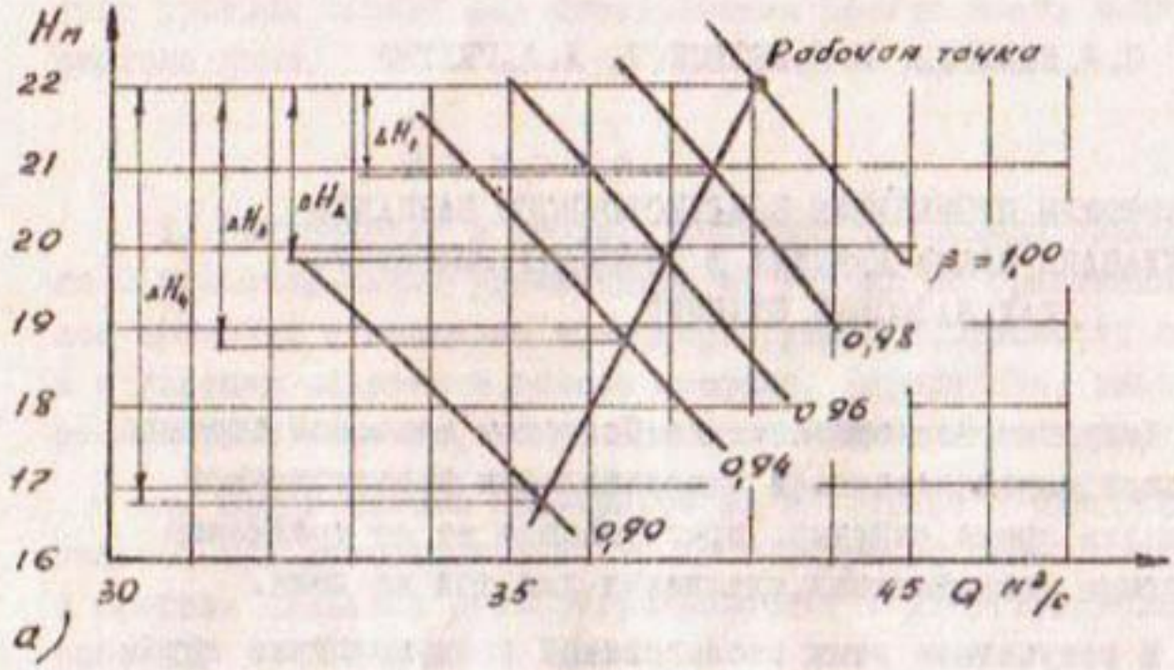


Рис. I–Сифонный водовыпуск Каршинской насосной станции



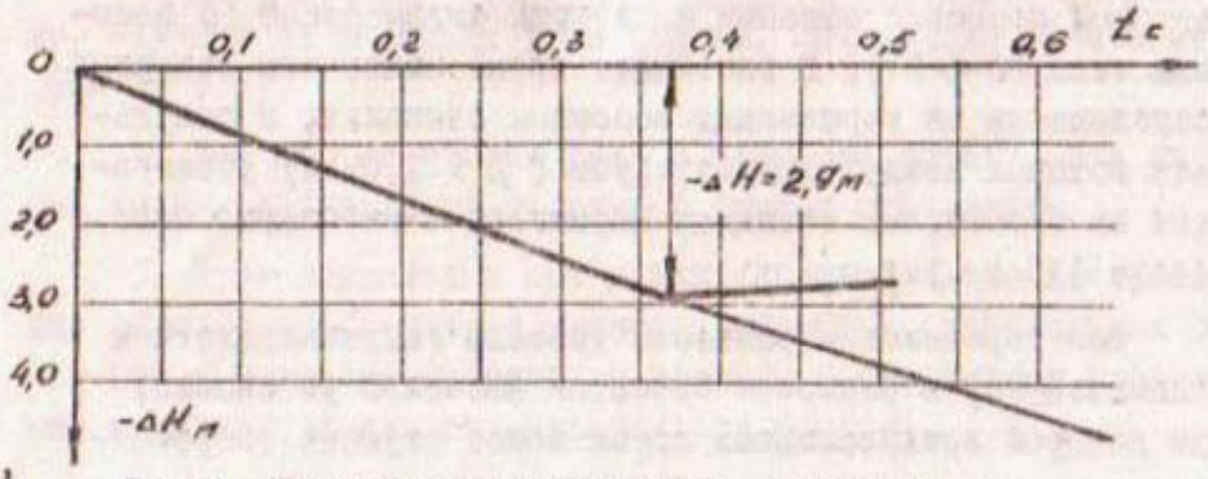


Рис.2. Графическое определение давления у воздуховодной трубы после выключения насоса.

никает в результате гидравлического удара, наблюдающегося при уменьшении числа оборотов выключенного насосного агрегата, и распространяется вверх по напорному трубопроводу, вызывая снижение давления в более удаленных от насоса сечениях. В каждом новом сечении оно продолжает снижаться со временем. Когда волна пройдет вдоль всего напорного трубопровода и через сифон достигнет напорного бассейна, то в результате отражения от резервуара большой емкости она устремится вниз по напорному трубопроводу (навстречу волне понижения давления) уже в виде волны повышения давления. Теперь давление в сечениях трубопровода, которого достигла отраженная волна, будет определяться наложением двух волн: волны понижения давления, идущей от уменьшающего обороты насоса вверх по трубопроводу, и волны повышения давления, отраженной от выходного сечения водовыпуска. Максимальное понижение давления в каждом сечении напорного трубопровода будет наблюдаться в момент, когда сюда придет отраженная волна повышения давления, так как с этого момента снижение давления будет остановлено и начнется его повышение.

Расчет понижения давления производится графическим способом (4). Для этого берется участок характеристики насоса Q – H вблизи рабочей точки при нормальном числе оборотов насоса n_0 и делается пересчет для уменьшенного числа оборотов $n_к$. При пересчете используются соотношения

$$Q_к = Q_0 \cdot \beta_к \quad \text{и} \quad H_к = H_0 \beta_к^2 \quad , \text{где} \ \beta_к = \frac{n_к}{n_0}$$

Полученные характеристики насоса совмещаются с графиком зависимости между изменениями напора и расхода при гидравлическом ударе, который выражается прямой линией (рис.2а).

$$\Delta H = \frac{4a}{\pi g d^2} \cdot \Delta Q$$

где a – скорость распространения волн изменения давления;

d – диаметр напорного трубопровода.

Если a = 200 м/с и d = 3,6 м, то $\Delta H = 2\Delta Q$.

При совмещении графиков прямая линия должна проходить через рабочую точку насоса при нормальном числе оборотов. По пересечению графиков определяется понижение давления, соответствующие различным значениям $\beta_к$ (см. рис.2а).

Для Каршинской насосной станции № 2 (совмещение графиков показано на рис.2а), соответствующие значения ΔH сведены в таблицу.

$\beta_к = \frac{n_к}{n_0}$	I	0,98	0,96	0,94	0,90
t с	0	0,137	0,280	0,428	0,745
ΔH м	0	I,I5	2,25	3,30	5,30

Время t, протекшее с момента выключения насоса до снижения оборотов до соответствующего значения $\beta_к$, подсчитывается по формуле $t = T_a \frac{1-\beta_к}{\beta_к}$,

где $T_a = \frac{\pi \cdot GD^2}{120g} \cdot \frac{n_0}{M_0}$ – время разгона насосного агрегата;

GD^2 = 350 тс.м^2 – маховый момент ротора агрегата;

G и D – вес и диаметр вращающихся частей двигателя;

M_0 = 30 тс.м – момент, потребляемый насосом при нормальном режиме работы.

Значения t и ΔH, взятые из таблицы, позволяют построить график волны понижения давления для сечения напорного трубопровода, где установлена воздуховодная труба (рис.2б).

Отраженная волна окажется в рассматриваемом сечении напорного трубопровода после того, как волна понижения давления пройдет вдоль сифонного водовыпуска до его выхода и вернется назад в виде волны повышения давления за время $t = \frac{2\ell}{a}$, где ℓ = 37 м – длина пути вдоль сифон-

ного водовыпуска.

Расчетное понижение давления оказалось равным 2,9 м. Близкая величина была измерена во время натурных исследований при тех же условиях работы насоса (N = 10700 квт, угол разворота лопаток УРЛ = -3^0). Величина понижения давления тем меньше, чем меньше потребляемая насосом мощность перед его отключением. Сила гидравлического удара ослабляется при увеличении времени разгона насосного агрегата, которое обратно пропорционально моменту, потребляемому насосом. При N = 8500 квт (УРЛ = -8^0) величина понижения давления равна 2,1 м.

По предварительным результатам натурных исследований вакуум в сифонном водовыпуске срывается с помощью воздуховодной трубы при всех уровнях воды в напорном бассейне, если разница между максимальным и минимальным уровнями в нем не превышает 0,6 величины понижения давления в зоне установки воздуховодной трубы после отключения насоса. Воздуховодная труба при этом должна быть установлена на границе вакуумной зоны на напорном трубопроводе при минимальном уровне воды в напорном бассейне. Так как сифонные водовыпуски каршинских насосных станций заделаны в бетонные монолиты (см.рис.1), то воздуховодные трубы пришлось установить на значительном расстоянии перед границей вакуумной зоны. К патрубкам наверху сифонных водовыпусков были подведены соединительные трубы (d_c = 0,3 м), другим концом врезанные в воздуховодные трубы так, что нижняя точка входа в соединительную трубу оказалась ниже максимального уровня воды в напорном бассейне на 2,1 · 0,6 = 1,26 м.

Описанное устройство с воздуховодной трубой было дополнено двумя механическими клапанами - вантузами, установленными на двух крайних из трех патрубков, имеющихся наверху сифонных водовыпусков каршинских насосных станций, для выпуска запираемого в сифоне воздуха при пуске насосной установки.

Эксплуатация такого устройства на каршинских насосных станциях в 1976г. показала его надежность при найденном диапазоне уровней воды в напорном бассейне. Одна-

ко на всех насосных станциях Каршинского магистрального канала разница между максимальным и минимальным уровнями воды в напорном бассейне превышает 1,26 м (она больше 2 м), поэтому с помощью предложенного устройства нельзя обеспечить срыв вакуума при всех уровнях воды в напорном бассейне. Следует увеличить диапазон изменений уровня воды в напорном бассейне, при котором обеспечивается надежное действие этого устройства. В настоящее время исследования на каршинских насосных станциях продолжаются.

В результате исследований 1977г. был предложен небольшой электромеханический клапан (Д = 0,25 м) взамен соединительной трубы. Он автоматически открывается при отключении насоса и во внутрь сифона поступает некоторое количество воздуха, в результате происходит дальнейший срыв вакуума через воздуховодную трубу при всех рабочих уровнях воды в напорном бассейне.

В 1977 г. исследования были проведены также на насосных станциях машинного канала для подпитывания р.Мургаб из Каракумского канала. Здесь раньше не было никаких клапанов срыва вакуума и во время работы насосов сифоны не включались. Поскольку напорные трубопроводы не были заделаны в бетонный монолит, воздуховодные трубы можно расположить на отметках, подсчитанных согласно описанной выше методике (на 1,2 м ниже отметки гребня сифона), а соединительные трубы не нужны.

Воздуховодные трубы (Д = 0,6 м, высота 4 м) и клапаны-вантузы (Д = 0,4 м) были установлены на 27 насосных установках трех насосных станций канала. Испытания (27.VI - 7.VII-1977 г.) устройства для срыва вакуума, включающего воздуховодные трубы и клапаны-вантузы, показали, что потребляемая насосными станциями мощность электроэнергии уменьшилась на 6% с одновременным увеличением производительности всех насосов в среднем на 6% (на последней насосной станции канала производительность увеличилась на 2,5 $м^3/с$ при общей ее производительности около 40 $м^3/с$). Годовой экономический эффект от внедрения был оценен в 128,8 тыс. руб.

Таким образом, при разнице между максимальным и минимальным уровнями воды в напорном бассейне насосной станции не больше I,0 - I,5 м устройство, включающее воздуховодную трубу и клапан-вантуз, обеспечивает оптимальные условия для эксплуатации насосной установки при всех ее режимах: пуск, работа, отключение. При большей разнице уровней в напорном бассейне можно применить дополнительный электромеханический клапан.

Литература

I. Рычагов В.В., Третьяков А.А., Флоринский М.М. Проектирование насосных станций и испытание насосных установок. М., 1971.

2. Гехтман Я.А., Кеберле С.И., Перепелкина В.В., Белесков Б.И. Аэрационная трубка для срыва вакуума в сифонах насосных станций, "Гидротехника и мелиорация". 1975, № 3.

3. Кеберле С.И., Белесков Б.И., Перепелкина В.В., Гехтер Л.А., Кондаков А.С. Натурные исследования воздуховодной трубы на Саятской насосной станции, Труды САНИИРИ, вып.147, 1975.

4. Указания по защите водоводов от гидравлического удара. М., 1961.

П.П.ЛИСТРОВОЙ

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛН ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ ЛОТКЕ БОЛЬШОЙ ДЛИНЫ

Образование положительных волн перемещения в машинных каналах при пусках и остановках агрегатов насосных станций обычно сопровождается развитием вторичных волн или ондуляций / I /. С ростом единичной мощности агрега-

тов и увеличением пропускной способности каналов вторичные волны могут достигать значительных размеров и намного превышать среднюю высоту фронта волны Δh, определяемую из уравнений Сен-Венана (рис.I).

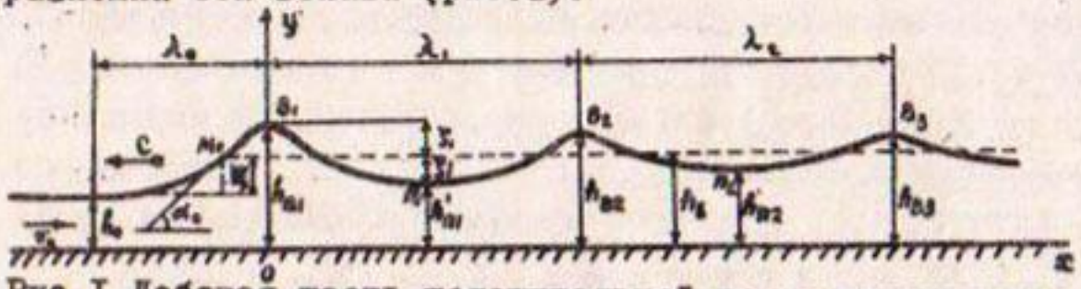


Рис.I Лобовая часть положительной волны перемещения с развитыми вторичными волнами

По данным наших исследований, при аварийной остановке 5 агрегатов насосной станции Каршинского магистрального канала высота первого гребня достигает I,9 м при средней высоте волны I,I м.

В этих условиях важно определить параметры вторичных волн. Например, при проектировании Главного канала переброски части стока сибирских рек в бассейн Аральского моря, для которого в основном проводились настоящие исследования, знание размеров профиля фронта волн позволит правильно разработать мероприятия по защите канала и судов от воздействия волн перемещения.

Известны сложности теоретического исследования крутых волн перемещения с ондуляциями и недостаток экспериментального материала /см.например 2/, особенно в лотках большой длины.[x)] Еще Фавр установил / 4 /, что фронт положительной волны перемещения при ее движении по руслу постоянно изменяется. Принято делить этот процесс на следующие / 5 / два периода: начальный, когда происходит формирование вторичных волн, сопровождающееся ростом высоты и крутизны первого гребня; период сформировавшейся волны, когда дальнейшее ее движение происходит без изменения профиля и высоты первого гребня, а развитие последующих гребней продолжается. Длина участка формирования зависит от начальных и гра-

---

x) Самый длинный лоток, в котором изучались процессы неустановившегося движения воды, длиной I50 м и сечением 0,6х х 0,6 м описан в / 3 /, однако параметры вторичных волн в нем не исследовались.

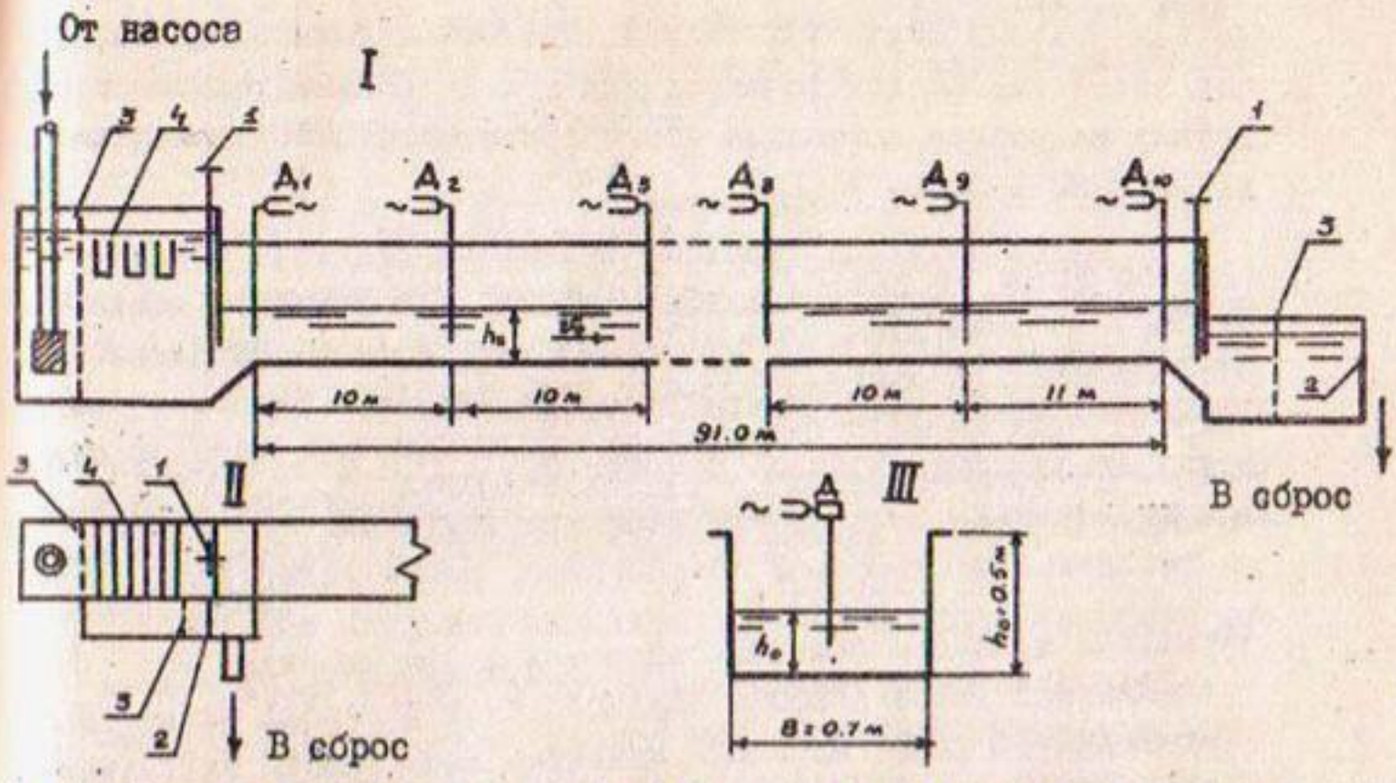


Рис.2. Схема гидравлического лотка: I - продольный разрез по оси лотка; II - план головного бака; III - поперечное сечение; I - затворы; 2 - мерные водосливы; 3 - успокоительные решетки; 4 - система лотков.

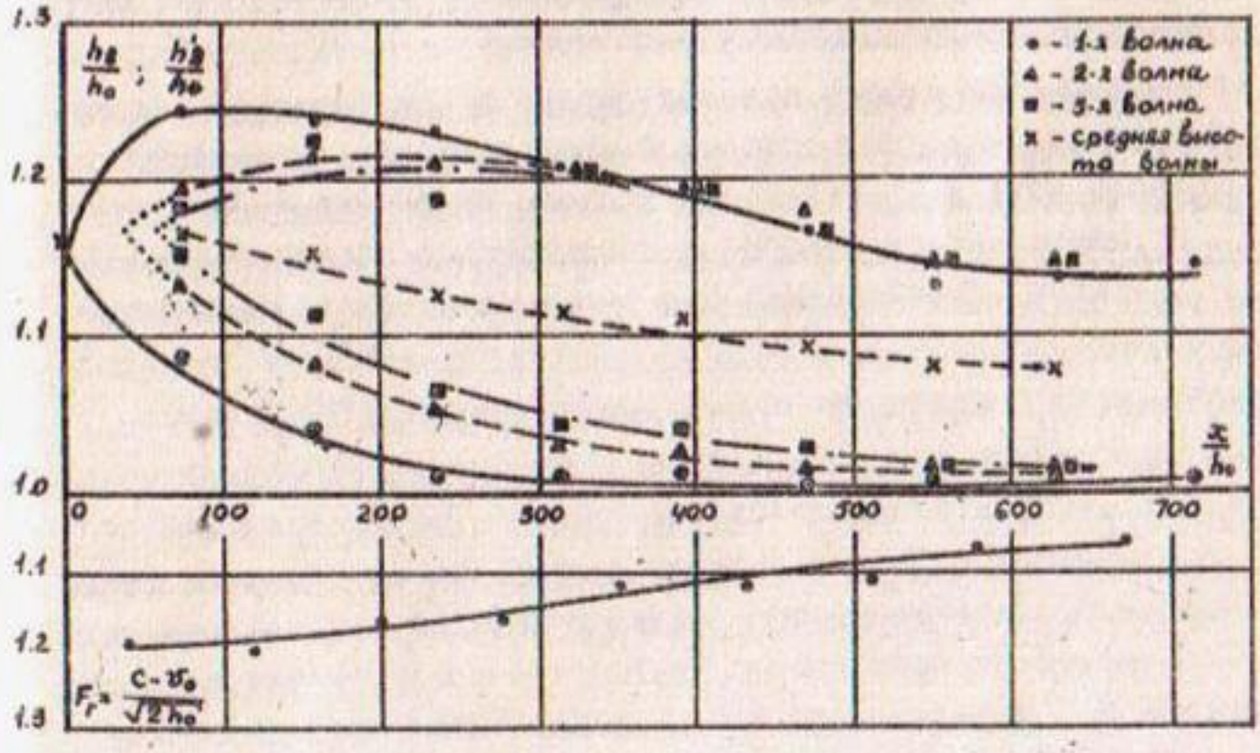


Рис.3. Изменение высоты и скорости перемещения волны по длине лотка при $T_{l_\Delta} < 0{,}75$.

ничных условий волнообразования. Поэтому детально был изучен начальный период формирования волн, поскольку длина лотков не всегда позволяла рассматривать процесс трансформации волн в целом / 6 /.

С целью изучения процесса трансформации волн перемещения, образующихся в машинных каналах при пусках и остановках агрегатов крупных насосных станций, был построен гидравлический лоток длиной 91 м (рис.2).

Лоток имеет прямоугольное сечение 0,5 х 0,7 м^2 и выполнен из металла. Сварные швы защищены ножданом, дно покрыто цементным раствором с железнением. Лоток установлен на винтовых подъемниках, позволяющих изменять его уклон.

Вода в лоток поступает из головного бака через отверстие с плоским затвором. При помощи этого затвора регулируется начальный расход воды, а волны наполнения создаются быстрым его открытием на заданную величину. Регулирование начальной глубины воды в лотке и создание волн подпора осуществляются плоским затвором, которым оборудовано сбросное отверстие в конце лотка. Для отвода воды в мерный бак и поддержания постоянного напора над выпускным отверстием при резких колебаниях расхода в головном баке выполнена система вспомогательных лотков.

Расход воды измеряется в мерных баках, имеющихся в голове и конце лотка, при помощи прямоугольного водослива Базена (без бокового сжатия). Максимальный суммарный расход лотка до 45 л/с. В процессе проведения опытов параметры волн измерялись волномерной установкой с преобразователями емкостного типа и записывались на фотобумагу осциллографом Н-700. Измерения велись одновременно в 10 створах.

На гидравлическом лотке были проведены опыты по изучению двух основных видов положительных волн перемещения - наполнения и подпора. В начале создавался равномерный поток с глубиной h_0, соответствующей расходу Q_0. Затем расход в голове (волны наполнения) или конце лотка (волны подпора) изменялся соответственно на величину $\pm \Delta Q$. Это изменение наблюдалось в течение всего опыта, который продолжался до тех пор, пока волна не достигала противоположного конца лотка.

Исследования, выполненные нами ранее на ряде действую-

щих каналов, показали / 7 /, что параметры возникающих волн перемещения зависят от начального импульса, характеризуемого величиной, которую мы обозначили

$$F_{r_\Delta} = \frac{\Delta Q}{\omega_0 \sqrt{g \omega_0 / B_0}} \qquad (I)$$

где ω_0 - поперечное сечение, B_0 - ширина по верху потока в начальном состоянии, g - ускорение силы тяжести. Анализ уравнений движения воды рассматриваемых волн показывает, что безразмерный параметр F_{r_Δ} численно характеризует изменение количества движения жидкости в начальном створе, вызванное изменением величины расхода, и связан с высотой образующейся волны.

От величины F_{r_Δ}, как показали наши исследования, зависит также характер трансформации профиля волн. Постоянное изменение профиля при движении волны по руслу обусловлено действием локальных сил инерции, которые вызваны начальным импульсом, и сил гидравлического сопротивления.

При $F_{r_\Delta} < 0{,}5$ в начальном створе образуется гладкая волна моноклинального вида, в пределах лобовой части которой начинают развиваться вторичные волны (см. рис. I). Первый гребень быстро увеличивается по высоте (рис. 3) и наступает состояние сформировавшейся волны, когда силы инерции уравновешиваются силами сопротивления. Однако это состояние неустойчиво, и высота первого гребня довольно быстро снижается и сравнивается с высотой последующих, после чего начинается общий процесс затухания. При этом профиль сформировавшейся волны близок к профилю прыжка-волны, а на стадии затухания он имеет вид периодических волн / 8, с. 258-259 /.

При приближении величины F_{r_Δ} к значению 0,5 силы инерции оказываются достаточно большими и в процессе формирования волн первый гребень достигает такой высоты, что происходит обрушение первого гребня с образованием на его переднем склоне вальца. В наших опытах обрушение происходило тогда, когда относительная высота первого гребня $\eta_{g_1} = \frac{h_{g_1}}{h_0}$ превышала I,55 ÷ I,60 (h_{g_1} - глубина под первым гребнем, h_0 - глубина невозмущенного потока). Поскольку за счет высокой турбулентности вальца силы сопротивления в

нем значительно больше, чем при гладком (потенциальном) волновом движении, энергия первого гребня быстро падает, и он опять становится гладким.

При значениях $F_{z_\Delta} > 0{,}75$ силы инерции оказываются настолько большими, что вместо гладкой волны в начальном створе образуется бор, имеющий вид движущегося совершенного гидравлического прыжка. Процесс трансформации его профиля протекает следующим образом. По мере движения за фронтом волны начинается образование ондуляций, тогда как сам фронт сохраняет вид движущейся водоворотной области. Когда величина энергии фронта волны упадет, он становится гладким, только после этого начинается рост высоты и крутизны вторичных волн (рис.4). После завершения процесса

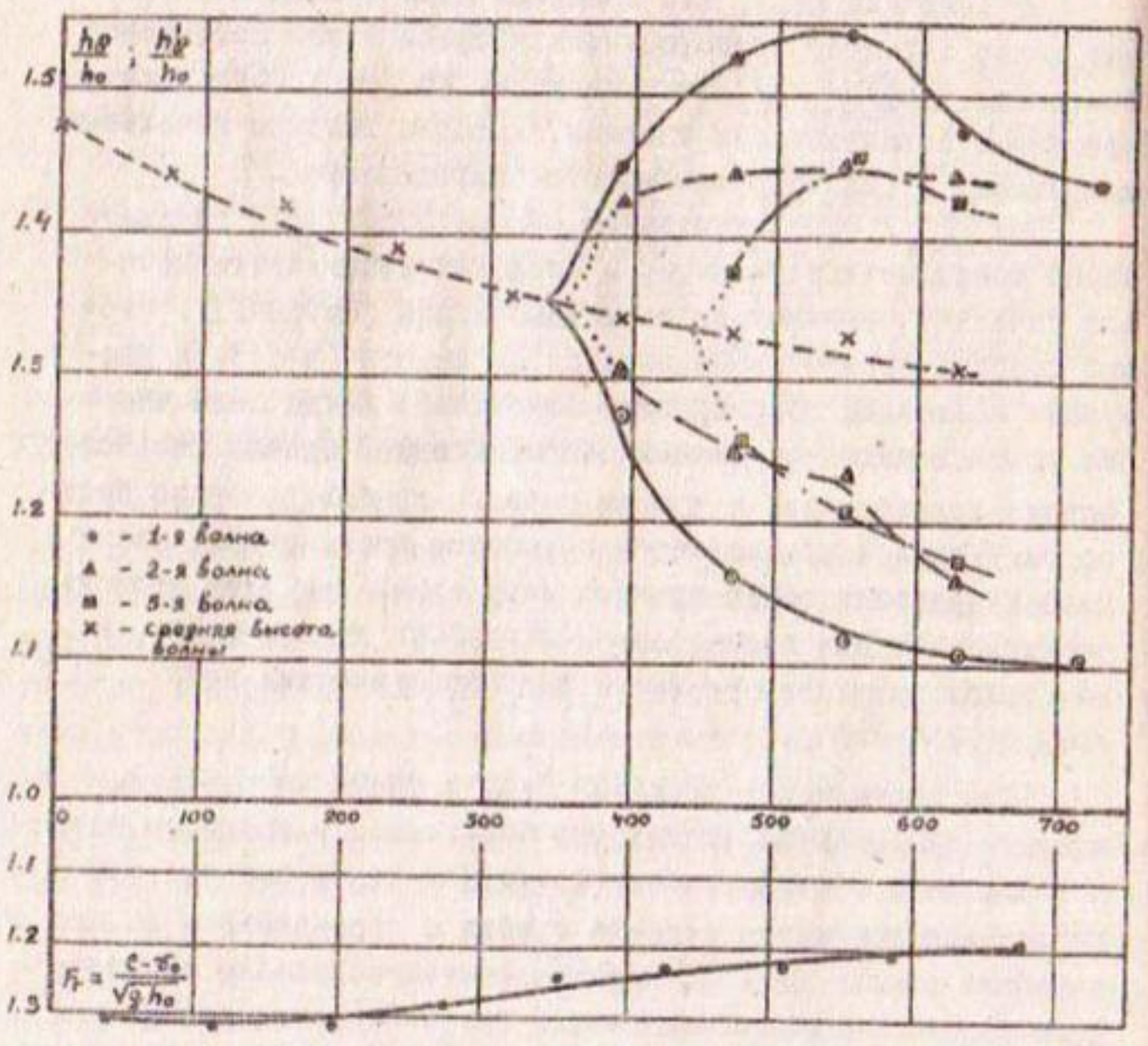


Рис.4. Изменение высоты и скорости перемещения волны по длине лотка при $F_{z_\Delta} > 0{,}75$.

формирования дальнейшая трансформация профиля волны протекает, как и при малых значениях $F_{z\Delta}$.

В некоторых опытах при $F_{z\Delta} > 0{,}75$ наблюдалось повторное обрушение первого гребня. После того, как в описанном процессе первый гребень становится гладким и силы сопротивления уменьшаются, сохранившейся энергии может оказаться достаточно, чтобы его высота достигла предельной величины и произошло повторное обрушение.

Выполненные расчеты показали связь вида волны в начальном створе с критической глубиной, определяемой для расхода, переносимого волной. Для прямоугольного лотка условием того, что образовавшаяся волна будет иметь вид бора, будет

$$h_в < h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q_в^2}{g}}, \qquad (2)$$

где $q_в = Q_в/B$ - погонный расход. При этом величина расхода, переносимого волной, равна для волн подпора $Q_в = \Delta Q$, а для волн наполнения $Q_в = \Delta Q + Q_0$.

Анализ возможных гидравлических режимов пусков и остановок агрегатов, включая аварийные для ряда действующих машинных каналов (Амубухарского, Шерабадского, Каршинского, Иртыш-Караганда и др.), показал, что для них величина $F_{z\Delta}$ в основном не превышает 0,4. Как видно из результатов наших исследований, образующиеся в них волны должны иметь гладкий профиль, параметры которого экстремальны на стадии сформировавшихся волн. Из большого количества теоретических работ, посвященных этим волнам, необходимо выделить направление, основанное на известной концепции Фавра: первый гребень сформировавшейся волны перемещения есть уединенная волна, а остальные - кноидальные волны. Полученные решения (см.например 5) дают профили волн, наиболее близко соответствующие наблюдаемым в опытах, а также позволяют аналитически связать все основные параметры вторичных волн.

Однако указанный метод дает завышенную границу существования рассматриваемого типа волн и заниженную высоту первого гребня (более 5%). В данном случае неустановившийся поток заменяется на установившийся путем наложения встречного течения, и поэтому локальные силы инерции, значение которых в опи-

сываемых волнах велико, в решении не учитываются. Кроме того, все параметры волн находятся в зависимости от величины числа Фруда, определяемого по формуле

$$F_r = \frac{C^*}{\sqrt{gh}}, \qquad (3)$$

где $C = C \pm v^*$ – относительная скорость фронта волны, и не связаны с начальными условиями волнообразования.

Поэтому представляют интерес полученные в результате проведенных опытов эмпирические зависимости относительной высоты первого гребня $\eta_{B1} = \frac{h_{B1}}{h_0}$ и скорости фронта F_r (определяемой по формуле 2) для сформировавшихся волн от величины начального импульса (рис.5 и 6). Указанные зависимости имеют вид

а) волны подпора $\eta_{B1} = 1 + 1{,}88\, F_{r\Delta}^{1.015}$ при $0{,}029 < F_{r\Delta} < 0{,}185$ (4)

б) волны наполнения $\eta_{B1} = 1 + 1{,}46\, F_{r\Delta}^{1{,}055}$ при $0{,}029 < F_{r\Delta} < 0{,}391$ (5)

в) скорость фронта $F_r = 1{,}32 \cdot F_{r\Delta}^{0{,}094}$ при $0{,}029 < F_{r\Delta} < 0{,}391$ (6)

Как видно, при одних и тех же значениях $F_{r\Delta}$ высота первого гребня сформировавшейся волны подпора больше, чем волны наполнения. Как показали наши наблюдения это можно объяснить тем, что актуальные скорости потока жидкости в пределах фронта волн подпора в результате сложения со скоростью невозмущенного потока меньше, чем в волнах наполнения. Поэтому в процессе формирования волн подпора силы сопротивления имеют меньшую величину, чем в волнах наполнения. При одинаковых значениях начального импульса это приводит к тому, что высота их больше волн наполнения.

Полученные зависимости (4, 5, 6) отличаются от аналогичных, приводимых другими авторами / 6 /, что объясняется как условиями опытов (выпуск объема воды в спокойную воду), так и параметрами, характеризующими граничные условия ("пусковое число" $F_{r\,пуск} = v_{пуск}/\sqrt{gh_0}$). "Пусковая скорость" характеризует осредненную по времени скорость выпуска воды из бака, тогда как $\Delta Q/\omega$ представляет собой величину из-

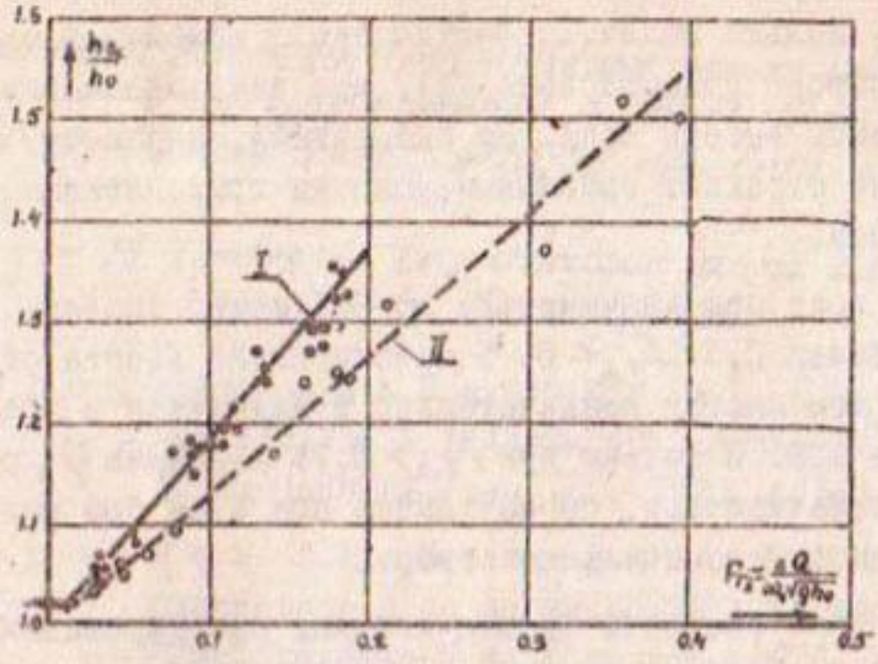


Рис.5. Зависимость высоты первого гребня сформировавшихся волн от величины начального импульса
I – волны подпора, II – волны наполнения.

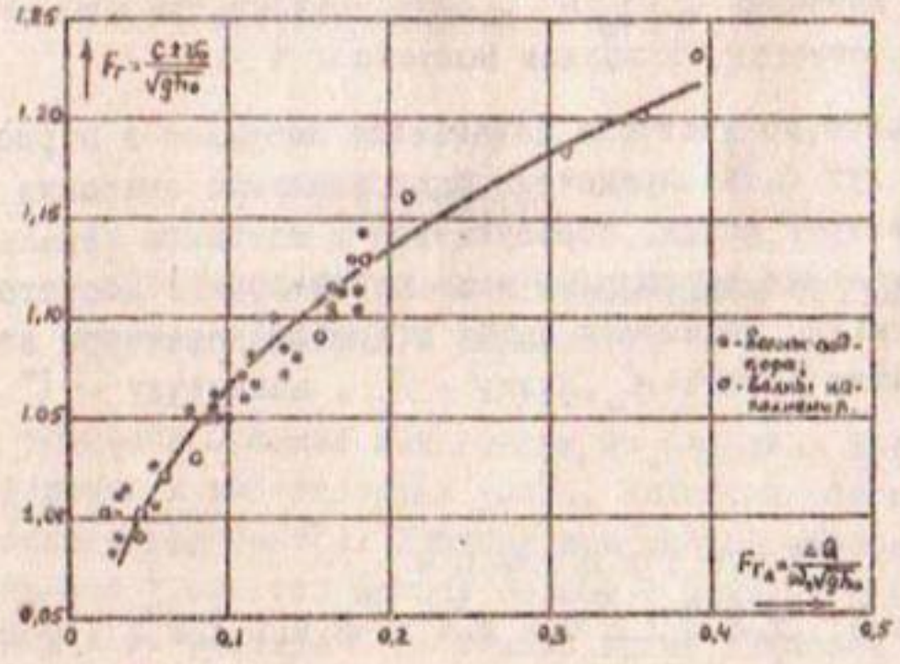


Рис.6. Зависимость скорости перемещения сформировавшихся волн от величины начального импульса.

менения средней скорости течения воды в начальном створе. Поэтому $V_{пуск}$ меньше величины фактического изменения скорости воды в створе волнообразования, что дает завышенные (до 20%) значения высоты волн. На наш взгляд, параметр F_{z_Δ} более правильно отражает граничные условия применительно к машинным каналам.

О высоте волн при значениях $F_z >$ 0,5 можно сказать следующее. В пределах $0{,}5 < F_{z_\Delta} < 0{,}75$ максимальная высота образующихся волн изменяется незначительно и находится в пределах $\eta_в$ = I,5 ÷ I,6. И только при $F_{z_\Delta} > 0{,}75$ величина $\eta_в$ снова начинает увеличиваться, образующийся при этом бор имеет максимальную высоту в начальном створе.

Относительная скорость фронта гладких сформировавшихся волн (см.рис.5) связана с ростом их высоты и не превышает I,25. Скорость волн с разрушенным первым гребнем и сбора продолжает увеличиваться с ростом величины F_{z_Δ}. При значениях $F_{z_\Delta} < 0{,}035$ скорость фронта становится меньше скорости распространения малых гравитационных волн, определяемых известной формулой Лагранжа $C = \sqrt{gh_o}$, образующиеся при этом волны могут быть отнесены к волнам попуска / 5 /.

Таким образом, по величине начального импульса в первом приближении могут быть определены экстремальные значения двух основных параметров волны, образующейся в машинном канале при резком изменении расхода. По этим параметрам с достаточной точностью можно расчитать также и другие параметры вторичных волн: крутизну фронта - α_o, длину - λ, амплитуду - ζ, (см.рис.I)

Литература

I. Заиров Х.И., Лебедев В.В., Листровой П.П., Турсунов А.А. Натурные исследования крутых волн перемещения в машинных каналах Узбекистана. Труды ЛПИ, № 351, I976, с.63-66.

2. Вереземский В.Г. О волновом боре в призматическом канале. Труды Гидропроекта, № 23, I972, с.I3-22.

3. Takahashi Tamotsu. On the flood waves in a prismatic open channel. — "Bull. Disast. Prev. Res. Inst.", 1970, 19, №4 1-19.

4. Favre H. Ondes de translation dans les canaux decouverts. Dunod, 1932.

5. Турсунов А.А., Заиров Х.И. Околокритические течения в длинных призматических руслах. Труды САНИИРИ, вып.120, 1970, с.363-398.

6. Турсунов А.А., Эммурадов Ю.М. Оценка параметров волн перемещения в машинных каналах. "Гидротехника и мелиорация", 1976, № 4, с.28-32.

7. Заиров Х.И., Листровой П.П. О высоте сформировавшихся волн перемещения. Труды САНИИРИ, вып.151, с.91-94.

8. Чугаев Р.Р. Гидравлика. Л., 1971.

Р.В.ТИМИРОВА

СТРУКТУРА ПОТОКА В КРИВОЛИНЕЙНОМ ПОДВОДЯЩЕМ РУСЛЕ ПРИ ВОДОЗАБОРЕ

В условиях Средней Азии одним из основных требований, предъявляемых к водозаборным узлам, является обеспечение безнаносного водозабора. Поэтому при выборе компоновки основное внимание уделяется методу борьбы с донными наносами, положенному в ее основу. В настоящее время наиболее эффективным методом борьбы с донными наносами является поперечная циркуляция потока. Принципы ее использования положены в основу компоновок водозаборных узлов ферганского типа, послойно-решетчатого, с наносоперехватывающими галереями, с донными решетчатыми галереями и др., в которых благодаря поперечной циркуляции осуществляется в той или иной степени безнаносный водозабор.

На предгорных участках рек широкое применение получили узлы ферганского типа. Поперечная циркуляция на этих узлах создается крупномасштабными конструкциями простых форм, надежных в эксплуатации и легко доступных осмотру и ремонту.

В состав водозаборных узлов ферганского типа входят: криволинейное подводящее русло, щитовая плотина, порог водоприемника и регулятор водоприемника, расположенный на вогнутом берегу криволинейного русла.

По мере надобности, обусловленной гидрологическими и местными условиями участка реки в створе намечаемого гидроузла, условиями водозабора и технико-экономическими показателями в ферганскую схему водозабора отдельными авторами (А.П.Ушаков, Я.А.Никитин, В.Н.Шолохов, И.А.Якштас, З.И.Рядова и др.) вводились дополнительные элементы: автоматический водослив, наносоотбойная стенка, порог-галерея, обратная галерея, реактивный порог, открытая промывная галерея и т.п.). Эти элементы несколько усложняют компоновку гидроузла, но зато значительно повышают его эксплуатационные показатели (коэффициент безнаносного водозабора достигает 0,8-0,95).

Простотой конструкции, надежностью в эксплуатации и обеспечением безнаносного водозабора до 80-95% объясняется широкое применение водозаборных узлов ферганского типа не только в условиях Советского Союза (Узбекистан, Киргизия, Казахстан, Таджикистан, Северный Кавказ, Грузия, Украина), но и за его пределами.

Основным элементом водозаборных узлов ферганского типа является криволинейное подводящее русло, в котором создается поперечная циркуляция потока, обеспечивающая отвлечение донных наносов от порога водоприемника.

В результате полевых и модельных исследований установлено, что интенсивность подвижки донных наносов зависит от средней скорости потока $V'_{ср}$, а сепарация их по поперечному сечению подводящего русла - от средней скорости $V'_{ср}$, по глубине потока. Движение твердых частиц обеспечивается при условии $V_{ср} > V_0$, а по ширине потока

- при $V_{ср} = V_0$ где V_0 - скорость начальной подвижки твердой частицы.

Средняя скорость потока определяется по известной формуле.

Как известно, на криволинейных участках поперечное сечение близко по форме к косоугольному треугольнику и следовательно для определения площади живого сечения может быть использована формула для определения площади косоугольного треугольника, которая после некоторых преобразований может быть представлена в виде

$$\omega = B_з\, h_{max}\, (1 - m J_п)_{ср}, \qquad (I)$$

где $B_з$ - ширина по зеркалу воды, м;

h_{max} - максимальная глубина потока, м;

m - откос;

$J_п$ - поперечный уклон водной поверхности.

Однако при сопоставлении расчетных данных с замеренными оказалось, что $\omega_р < \omega_з$, причем разница между $\omega_р$ и $\omega_з$ или если $\frac{\omega_з}{\omega_р} = K$ зависит от изменения расходов воды в реке.

Анализ полевых и модельных исследований показал, что форма поперечного сечения изменяется от расхода воды в реке. При прохождении по реке паводковых расходов максимальные глубины и скорости располагаются вдоль вогнутого берега, поперечное сечение русла имеет форму косоугольного треугольника. По мере уменьшения расходов воды в реке максимальные глубины и скорости перемещаются ближе к середине русла, и поперечное сечение приобретает корытообразную форму. Введя в зависимость (I) коэффициент "К", учитывающий изменение формы русла в зависимости от расходов воды в реке, получаем

$$\omega = K B_з\, h_{max}\, (1 - m J_п)$$

Сопоставление опытных данных с расчетными последовательно представлено на рис.I, откуда следует, что коэффициент подобран правильно, поскольку опытные точки почти ложатся на кривую расчетную.

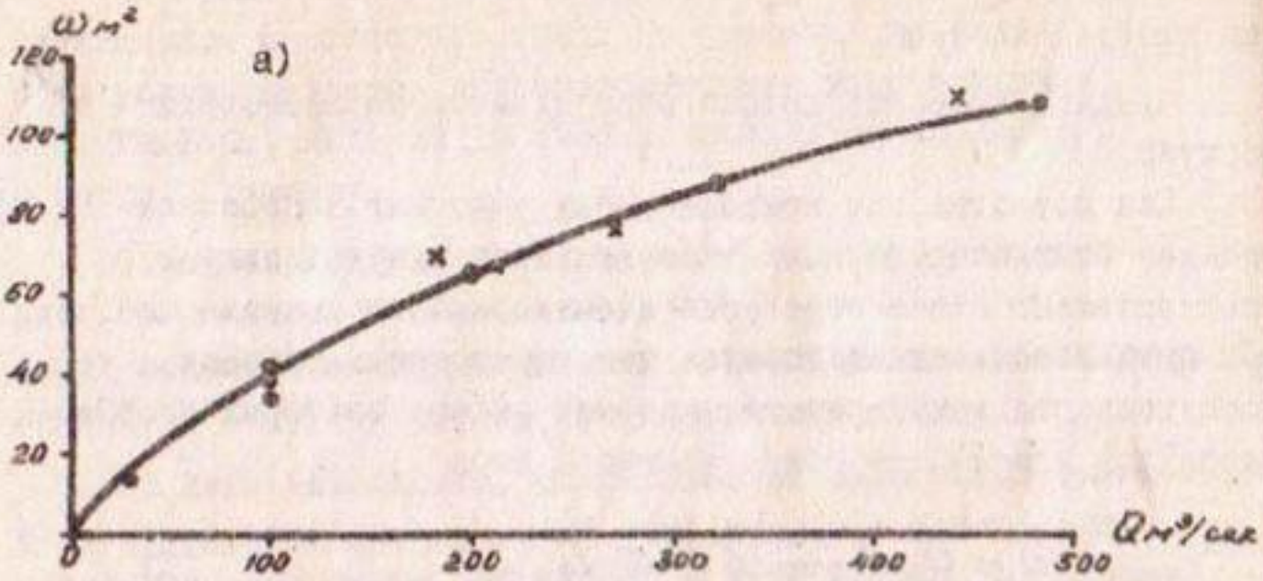


График изменения живого сечения от расходов воды.

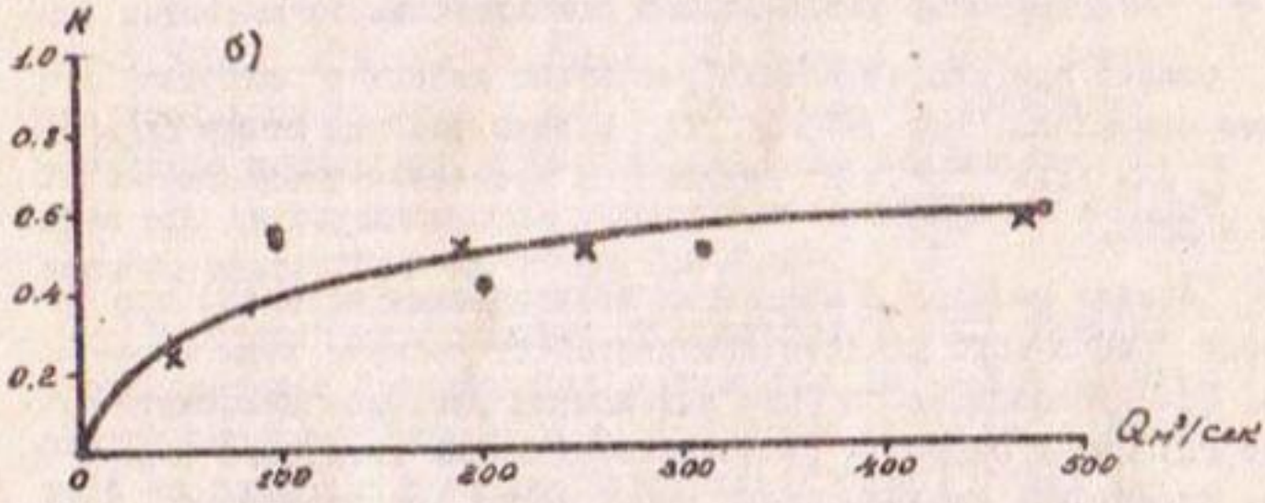


График изменения опытного коэффициента "К" от расхода воды в реке $K = f(Q)$.

Условные обозначения:

•- опытные точки при $R = (5\text{-}6)\,B_y$

x- опытные точки при $R = 2{,}5\ B_y$

Рис.I

Анализируя распределение скоростей потока по сечению, определяем, что максимальные скорости находятся у вогнутого берега, соответственно и более крупные фракции двигаются у вогнутого берега, по мере удаления от него (по створу поперечника) скорости потока снижаются, соответственно и фракции движущейся смеси уменьшаются, т.е. более крупные располагаются в зоне больших скоростей, а более мелкие в зоне малых. Следовательно, зная закон распределения скоростей по сечению русла, можно определять подвижку той или иной фракции наносов

$$V'_{cp} > V_o$$

Для определения распределения скоростей потока по сечению используется закон площадей

$$V'_{cp} R = V_{cp} R_{cp} = const$$
$$V'_{cp}(R_1 + b) = V_{cp} R_{cp} \qquad (2)$$
$$V'_{cp} = \frac{V_{cp} - R_{cp}}{R_1 + b}$$

где R_1 - радиус кривизны выпуклого берега;

R_{cp} - средний радиус изгиба;

b - ширина по урезу воды от выпуклого берега до рассматриваемой вертикали.

На изгибе потока скорости должны увеличиваться по мере приближения к вогнутому берегу. Фактически такое распределение скоростей по сечению русла наблюдается не всегда. Поэтому в реальных потоках закон площадей строго не выполняется.

Следовательно, в зависимость (2) следует ввести коррективы "М", учитывающий изменение распределения скоростей по сечению потока. Исследованиями установлено, что "М" зависит от коэффициента водозабора φ и определяется по зависимости

$$M = \frac{\varphi}{1{,}2\,(\varphi + \sqrt{\varphi})} \left(\frac{\sqrt{1{,}5(\varphi + \sqrt{\varphi})}}{\sqrt{\varphi}} + 1 \right) \qquad (3)$$

После некоторых преобразований зависимости и обозначения $\frac{\varphi}{\varphi + \sqrt{\varphi}}$ через N получим

$$M = 0{,}8\,N\left(\frac{1{,}5}{N} + 1 \right)$$

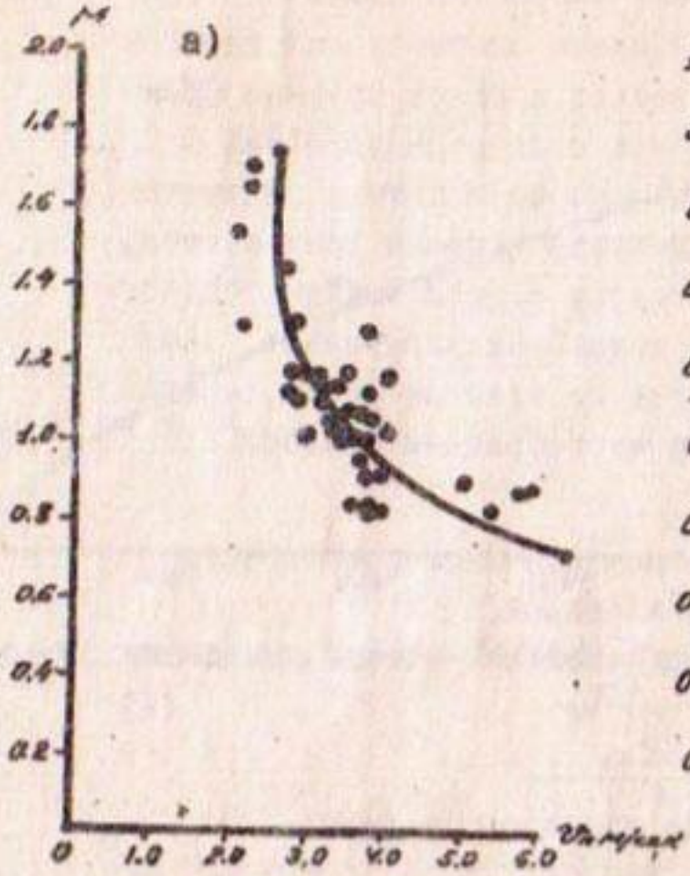


График изменения коэффициента "М" от скорости по глубине потока в подводящем русле $M=f(V_n)$

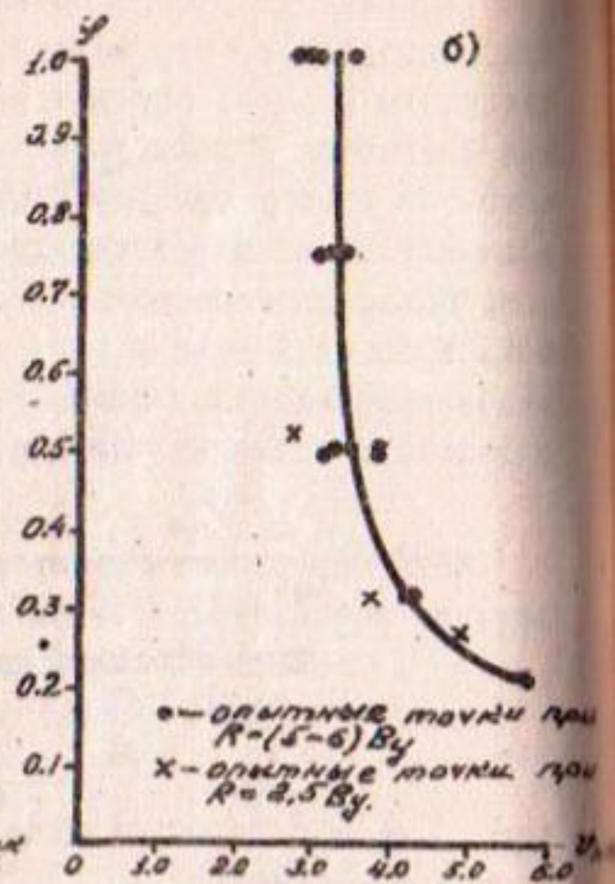


График изменения скорости по глубине потока откоэффициента водозабора $\varphi=f(V_n)$

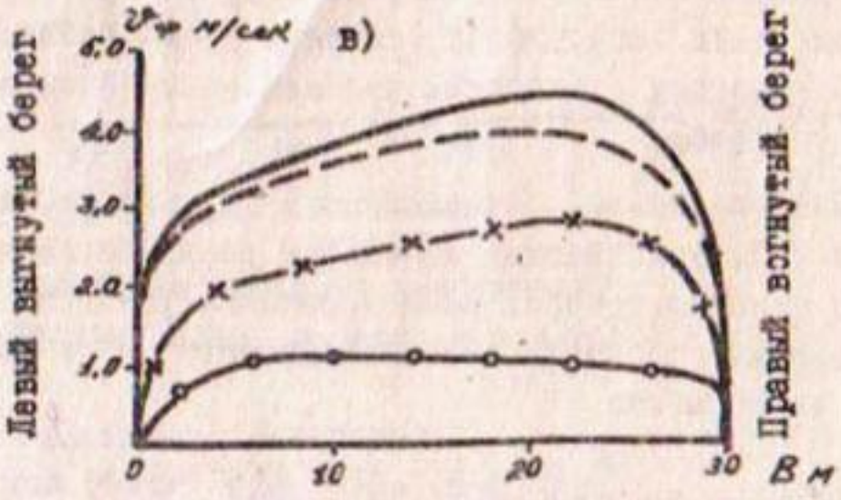


Рис.2 Эпюры распределения средних скоростей по глубине потока в подводящем криволинейном русле.

Условные обозначения:

_____ при Q =187,72 м^3/сек

– – – при Q =150,65м^3/сек

—x— при Q =88,47м^3/сек

—o— при Q =47,72 м^3/сек

Сопоставление расчетных данных по зависимости

$$v_{cp}' = 0{,}8N\left(\frac{1{,}5}{N} + 1\right)\frac{v_{cp} \cdot R_{cp}}{R_1 + \delta}$$

с опытными данными последовательно представлено на рис.2, из которого следует, что опытные точки ложатся близко к расчетной кривой.

Я.С.МУХАМЕДОВ
ст.научн.сотр.
Д.А.МУХАМЕДОВ
инженер
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕРЕНИИ ПЛОТНОСТИ И ВЯЗКОСТИ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД

В лабораторных условиях в отделе русл САНИИРИ была построена пространственная модель водохранилища, на которой было изучено явление поступления минерализованных вод в водохранилище. В качестве аналога натурной минерализованной воды был использован водный раствор хлористого натрия. Для выявления возможности использования водного раствора хлористого натрия в качестве аналога минерализованной воды были проведены специальные опыты, целью которых являлось изучение физико-химических свойств натурной минерализованной воды и водного раствора хлористого натрия и получение зависимостей плотности и вязкости от концентрации указанных растворов и их последующее сравнение / 2 /.

Для определения плотности и вязкости использованы пробы натурной минерализованной воды, отобранные экспедицией САРНИГМИ, химический анализ которой выполнен лабораторией института "Средазгипроводхлопок", и заранее приготовленные водные растворы хлористого натрия различных концентраций.

Плотность обоих растворов определялась при помощи пикнометров объемом I и 3 мл. Испытуемый раствор заливали в пикнометр до указанной метки, затем пикнометр с раствором взвешивали на весах с точностью до сотых долей грамма. После каждого измерения пикнометр промывали дистиллированной водой. В течение всех измерений проводили систематический контроль за измерением температуры испытуемых растворов при помощи термометра с ценой деления $0,I^0$. За время измерений температура растворов равнялась 23^0 и изменялась на $\pm 0,I^0$. Плотность растворов определяли (рис I) по зависимости

$$\rho = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \cdot \rho_t,$$

где ρ - плотность раствора при температуре t°;

m_0 - масса пустого пикнометра в граммах;

m_1 - масса пикнометра с чистой водой в граммах;

m_2 - масса пикнометра с испытуемым раствором в граммах;

ρ_t - плотность чистой воды при температуре в $г/см^3$, при $t^\circ = 23^0$ $\rho_t = 0,997$ $г/см^3$.

Вязкость испытуемых растворов устанавливали при помощи вискозиметра типа ВПЖ-I диаметром капилляра $\varnothing = 0,34$ мм. При измерении вязкости так же как и при измерении плотности проводили контроль за растворами $t = 22,5^0C$, которая в течение всех измерений изменялась на $\pm 0,I^0$. После каждого измерения вискозиметр тщательно промывали дистиллированной водой.

Вязкость определяли (рис.2) по тарировочной зависимости, приведенной в выпускном аттестате:

$$\nu = 0,003018 \cdot \frac{g}{980,7} \cdot \tau,$$

где ν - кинематическая вязкость жидкости в сантистоксах (сст);

τ - время истечения жидкости в секундах;

g - ускорение силы тяжести в месте измерений в $см/с^2$ (для г.Ташкента $g \approx 979,993$ $см/с^2$).

Полученные графики зависимостей $\rho = f(\mu)$ и $\nu = f(\mu)$ (рис.2) показывают, что значения плотности и вязкости обоих растворов при одинаковой концентрации (0 ÷ 8 г/л)

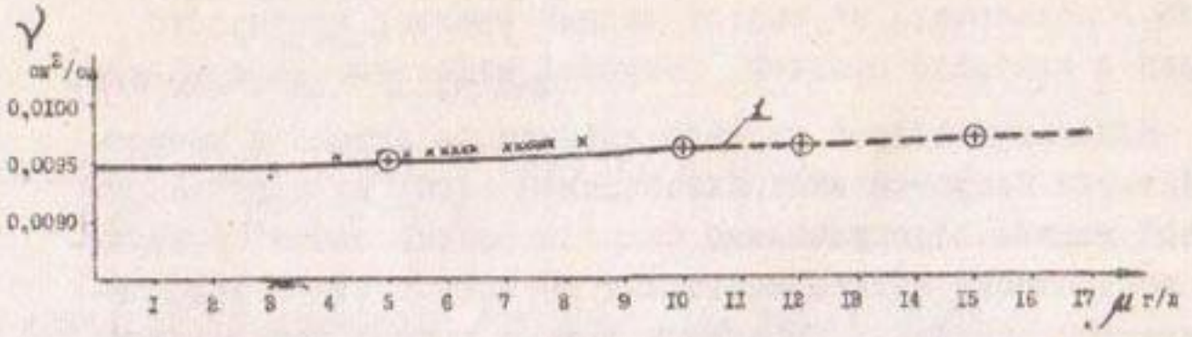


Рис. I.

Зависимость $\rho = f(\mu)$ для натурной минерализованной воды и водного раствора $NaCl$ при $t° = 23^{0}C$:

✕ - натурная минерализованная вода;

⊕ - водный раствор $NaCl$ по данным измерений;

1 - водный раствор $NaCl$ по данным "Справочника химика".

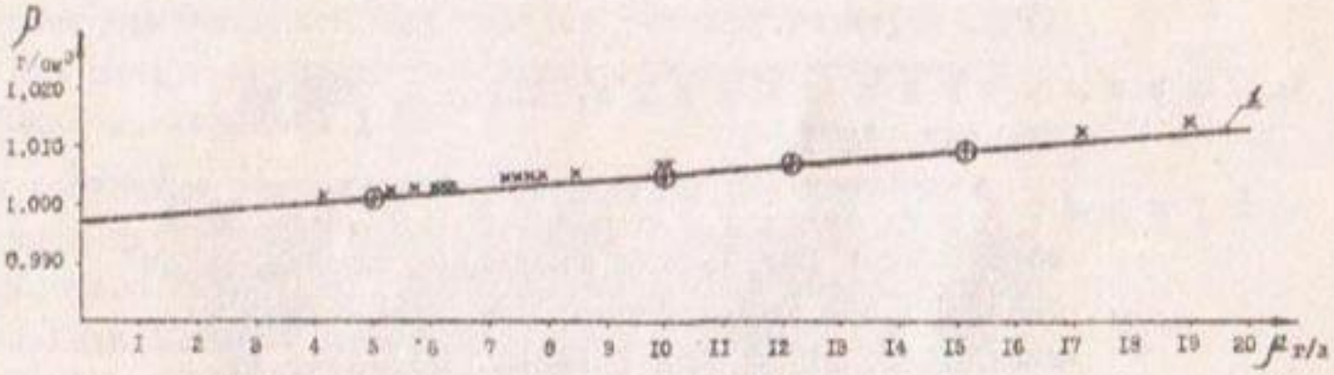


Рис. 2.

Зависимость $\nu = f(\mu)$ для натурной минерализованной воды и водного раствора $NaCl$ при $t° = 22,5^{0}C$:

✕ - натурная минерализованная вода;

⊕ - водный раствор $NaCl$ по данным измерений;

1 - водный раствор $NaCl$ по данным "Справочника химика".

разнятся на относительно малую величину, что дает возможность использовать на модели водный раствор хлористого натрия в качестве аналога натурной минерализованной воды.

Используя водный раствор хлористого натрия в качестве аналога натурной минерализованной воды, на пространственной модели водохранилища были проведены опыты по изучению поступления минерализованных дренажных вод в водохранилище при различных вариантах режима работы водохранилища / 4 /. Результаты экспериментов позволили выявить некоторые варианты, при которых концентрация воды в нижнем бьефе не превышает допустимой величины для полива сельскохозяйственных культур.

Литература

I. Леви И.И. Моделирование гидравлических явлений. "Энергия", Л., 1967.

2. Глузнер С.И. и др. "Измерение массы, объема и плотности", Издательство стандартов, М., 1972.

3. Справочник химика. Т.I и 3. Изд-во "Химия", 1971.

4. Мухамедов Я.С., Мухамедов Д.А. Предварительные результаты модельных исследований смешения вод Чардаринского водохранилища и минерализованных вод Арнасая. Сб.научн.тр., вып.147, САНИИРИ, Ташкент. 1975

М.М.МИРЗАХМЕДОВ
аспирант
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ПРОЦЕССА ПРОСАДКИ В ЛЕССОВЫХ ГРУНТАХ ВТОРОГО ТИПА

С целью изучения просадочного процесса нами проводились турные опыты в условиях сильнопросадочных грунтов Узбекиа-в новоорошаемой зоне Кокаральского массива, вблизи дейующего Ташкентского канала. Общая мощность просадочных унтов в пределах опытного участка составляла 17м.

Инженерно-геологические характеристики грунтов опытго участка определялись в лабораторных условиях по суствующей методике геотехнических анализов (таблица), унты опытного участка отнесены к лессам.

Опытный участок занимал более двух гектаров площади достаточном расстоянии (300 м) от зоны деформации дейующего канала. Для изучения просадочного процесса предрительным замачиванием был выделен участок размером х60 м, в центре которого был вырыт котлован размером в ане 20х20 м, глубиной I м.

Во избежание возможности зайления по дну котлована л устроен дренирующий слой из песка толщиной 5 см. Проадку опытного котлована наблюдали с помощью поверхностных рок по двум взаимно перпендикулярным створам. Для опреления деформации отдельных слоев просадочной толщи в нтре котлована установлены глубинные реперы на горизонх 4, 7, I0 м ниже поверхности дна котлована. Уровень во- в котловане контролировался водомерной рейкой.

По окончании подготовительных работ производилось ухкратное нивелирование всех контрольно наблюдательных чек относительно ранее установленного неподвижного репе-, расположенного вне зоны просадочных деформаций. Все четы вносились в специальный журнал периодических ниверований.

Все опытные работы по замачиванию просадочной толщи унта (установление поверхностных и глубинных реперов,

Таблица

Инженерно-геологические характеристики грунтов

Глубина взятия образца, м	Естественная влажность, %	Объемный вес сухого грунта,	Удельный вес, г/см³	Пористость, %	Гранулометрический состав, %			Пластичность			Коэффициент фильтрац, м/сут.
					песчан. > 0,05 мм	пылеват. фракц. 0,05–0,005мм	глинист. фракц. <0,005 мм	верхний предел, %	нижний предел, %	число пластичн.	
I,0	4,05	I,2I	2,68	54,85	I4,2	69,4	I6,2	29,39	2I,59	7,8	I,44
2,0	5,0I	I,25	2,68	53,36	9,8	7I,6	I8,6	28,2	2I,7	6,5	
3,0	5,I	I,28	2,68	52,24	I3,8	73,3	I7,7	28,76	2I,03	7,67	I,25
4,0	5,6	I,26	2,70	53,33	I2,2	79,I	8,7	28,29	2I,68	6,6I	-
5,0	5,8	I,3I	2,72	5I,84	7,0	79,5	I3,5	22,29	2I,8I	4,48	I,7I
6,0	5,8I	I,30	2,72	52,2I	8,2	80,7	9,9	27,75	22,I7	5,58	-
7,0	6,3	I,33	2,72	5I,I	II,0	72,0	I7,0	27,25	2I,55	5,70	0,82
8,0	6,54	I,40	2,72	48,53	I4,4	66,6	I9,0	26,93	20,9	6,03	-
9,0	6,6I	I,39	2,72	48,9	II,8	68,5	I9,7	25,79	20,25	5,54	0,64
I0,0	6,8	I,4I	2,7I	47,97	I6,6	67,9	I5,2	25,9	I8,4	7,50	-
II,0	6,8	I,40	2,69	47,96	20,6	64,8	I0,8	25,94	I8,8I	7,I3	0,98
I2,0	7,02	I,45	2,72	46,69	I6,96	66,56	I6,48	27,02	I7,96	7,66	-
I3,0	8,0I	I,53	2,73	43,96	I9,20	6I,32	I9,48	23,73	I6,0I	7,72	0,59
I4,0	7,40	I,44	2,73	47,25	32,2	47,28	I9,52	20,56	I4,70	5,86	-
I5,0	I2,04	I,40	2,69	47,96	20,8	62,88	I6,32	24,65	I8,6	6,05	0,67
I6,0	I3,6	I,42	2,69	47,2I	I7,56	63,76	I8,68	26,22	I9,34	6,88	-
I7,0	I4,4	I,38	2,70	48,89	7,84	76,08	I8,08	27,I2	2I,93	5,I9	0,92

проведение контрольных нивелирований и др.) выполнялись в соответствии с указаниями, приведенными в пособии по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений на просадочных грунтах.

С момента подачи воды в котлован в течение первых четырех суток дважды наблюдалось карстовое явление, вследствие которого воды в котловане не оказалось. После тщательной заделки карстовых воронок замачивание котлована продолжалось и уровень воды поддерживался в пределах 30-60 см. Непрерывное замачивание производилось в течение 66 сут. после чего было приостановлено из-за отсутствия воды в источнике. На следующий год котлован подвергался повторному замачиванию в течение 40 сут. до стабилизации просадки.

В период замачивания котлована проводилось периодическое нивелирование всех поверхностных и глубинных реперов (рис.I, 2), а также учет подаваемой и фильтрующейся через грунт воды.

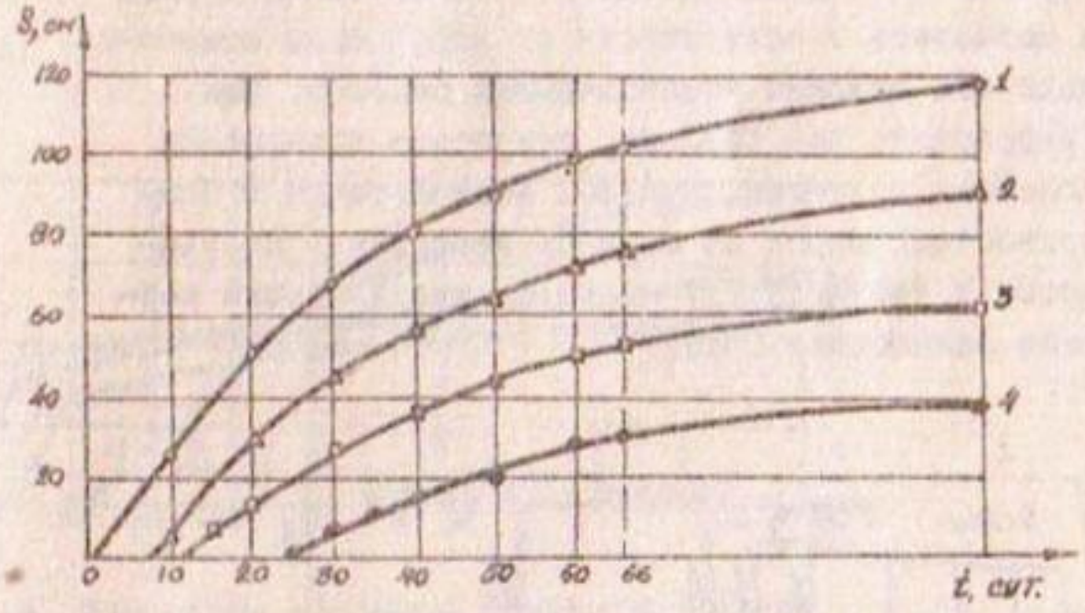


Рис.I. Динамика просадки дна котлована и глубинных реперов: I - поверхностный репер (ПР) на дне котлована; 2 - глубинный репер (ГР) H = 4 м; 3 - ГР H = 7 м; 4 - ГР H = I0 м.

Как видно из рисунков, деформация дна котлована начинается с первых суток замачивания. На следующий день замачивания на берегах котлована появились просадочные трещины. Уже на девятые сутки замачивания просадочные трещи-

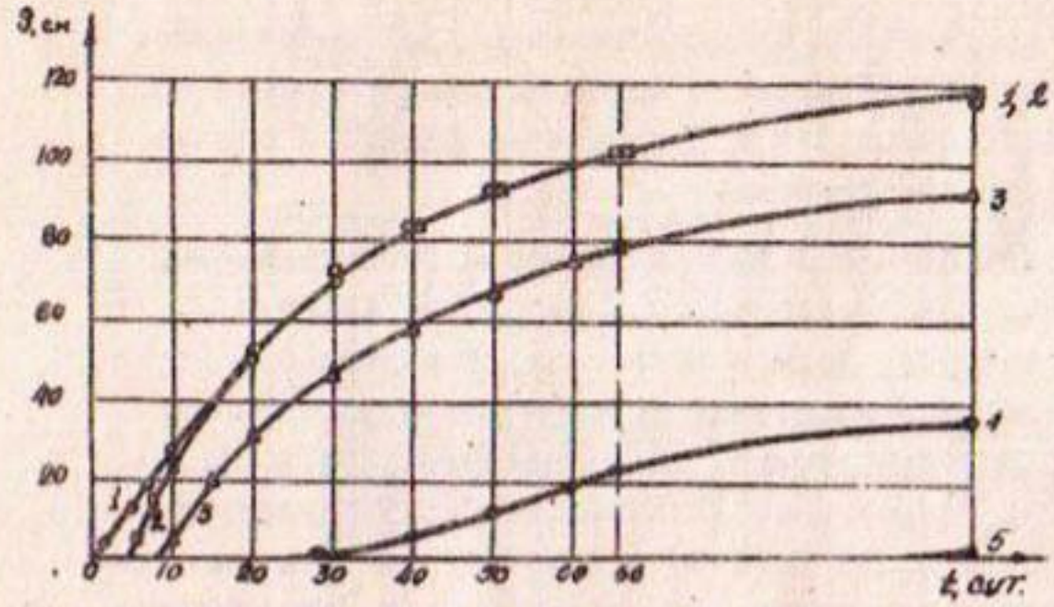


Рис.2. Изменение просадки поверхностных реперов во времени: I - (ПР) в центре котлована; 2 - ПР на расстоянии ℓ = I м от котлована; 3 - ПР ℓ =3 м; 4 - ПР ℓ = 5 м; 5 - ПР ℓ = 8 м.

ны (шириной 2-5 см) предоставляли четырехступенчатые террасы, амплитуда смещения отдельных из них 4-8 см. Просадка поверхностных реперов за пределами котлована и глубинных реперов начинается позднее, чем просадки донной поверхности котлована в зависимости от расстояний замачиваемой площади или глубины установленных реперов. Чем больше это расстояние или глубина, тем позже начинается просадка. Конечная величина просадок донной точки и ближайших поверхностных марок на берегах котлована получились одинаковые и достигли II7 см, т.е. дно и бровки котлована просели равномерно (рис.3).

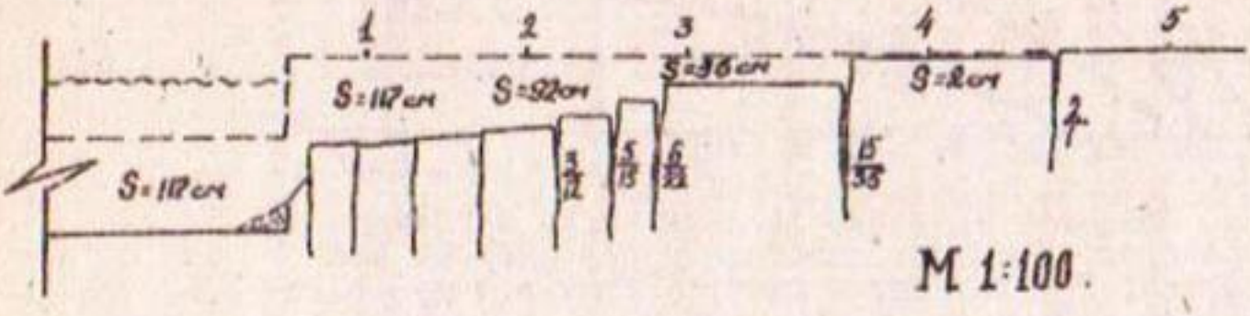


Рис.3.Разрез южного берега котлована.

Как видно из рис.3, просадочные трещины в конце опыта представляли девятиступенчатые террасы и распространялись от котлована на расстояние 9,5 м. Ширина просадочных трещин составляла 15-18 см, а амплитуда смещения (вертикальное смещение) достигала 35 см. Видим, что величина террасы, т.е. расстояние между трещинами увеличивается по мере удаления от котлована.

Из рис.2 видно, что наибольшая по величине просадка происходит в месте донной точки. Чем глубже установлен репер, тем меньше величина его просадки. Для удобства анализа деформации отдельных слоев всю просадочную толщу разбили на четыре слоя по горизонтам установленных реперов.

I слой от 0 до 4 м;
II слой от 4 до 7 м;
III слой от 7 до 10 м;
IУ слой от 10 м до непросадочных грунтов (17 м).

На рис.4 представлена динамика просадки отдельных слоев. Как видно из рис.4, просадка первого слоя началась с

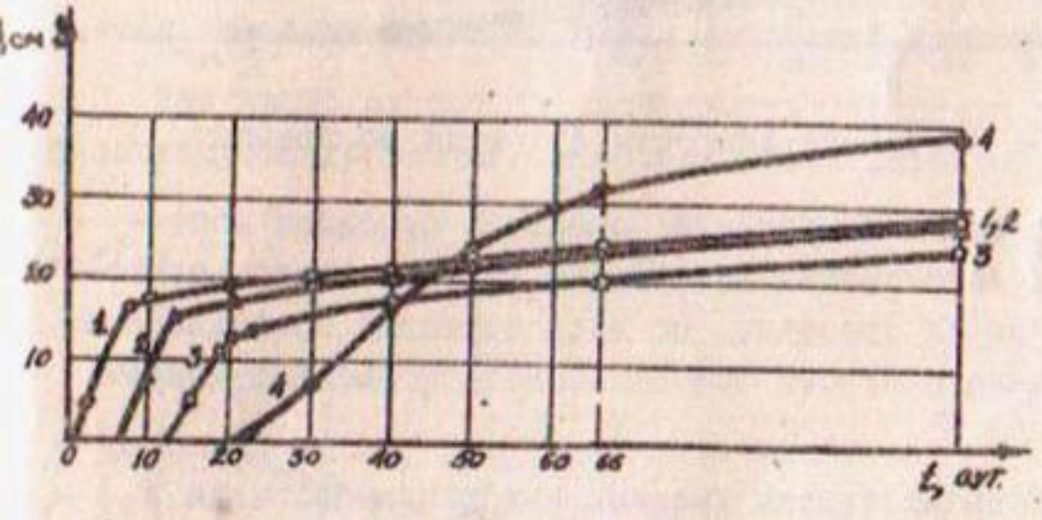


Рис.4. Изменение просадки отдельных слоев во времени. I - от 0 м до 4 м, 2 - от 4 м до 7 м, 3 - от 7 м до 10 м, 4 - от 10 м до 17 м.

первых же суток замачивания, а деформация II слоя - на седьмые сутки. К этому моменту просадка первого слоя приобретает величину, равную 61% от своей конечной величины.

Такая тенденция повторяется и в других слоях просадочной толщи. Следовательно, деформация нижнего слоя происходит при достижении вышележащего слоя, величина просадки которых равна соответственно, 50-65% от полной просадки. Остаточная деформация верхнего слоя происходит одновременно с нижележащими слоями.

На рис.5 приведены графики изменения скорости просадки во времени. Из графиков видно, что самая интенсивная просадка происходит в начале опыта в донной точке.

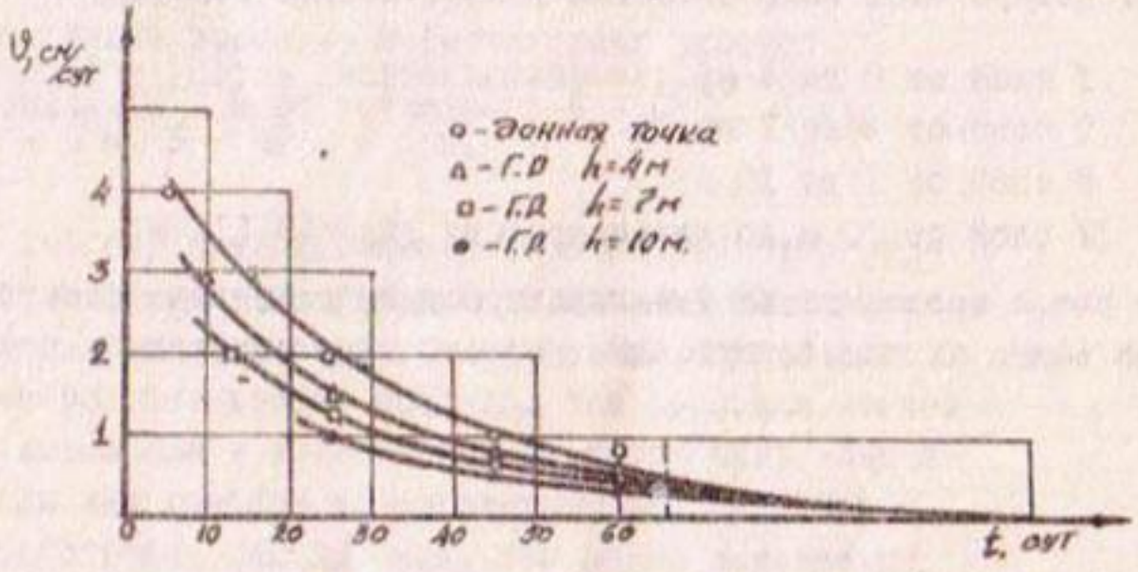


Рис.5. Изменение скорости просадки во времени.

На пятые сутки замачивания скорость просадки достигала 4 м/сут. Интенсивная деформация каждого репера происходила в начале их просадки. Во всех периодах просадки наибольшая величина скорости просадки соответствовала донной точке.

На рис.6 представлены графики изменения просадки и фильтрационного расхода во времени.

Как видно из графика, наибольшая величина фильтрационного расхода соответствует начальному периоду замочки, затем величина фильтрационного расхода непрерывно падает. Также начальному периоду замачивания соответствует и наибольшая интенсивность просадочных деформаций.

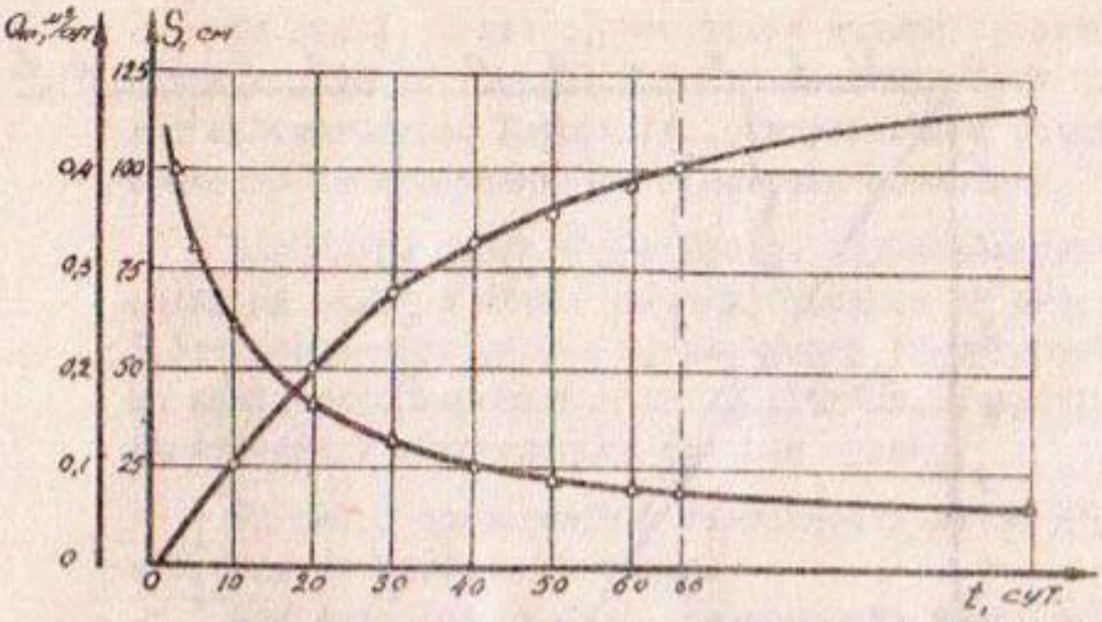


Рис.6. Изменение просадки дна котлована и фильтрационного расхода (на I м2 пл.) во времени.

Как видно, характер развития просадочных деформаций вполне соответствует характеру изменения фильтрационного расхода.

Из представленного графика фильтрационного расхода во времени можно наблюдать, что через 30-40 суток замочки достигается установившийся характер свободной фильтрации.

Как видно из рис.7, зависимость изменения просадки от фильтрационного расхода носит линейный характер.

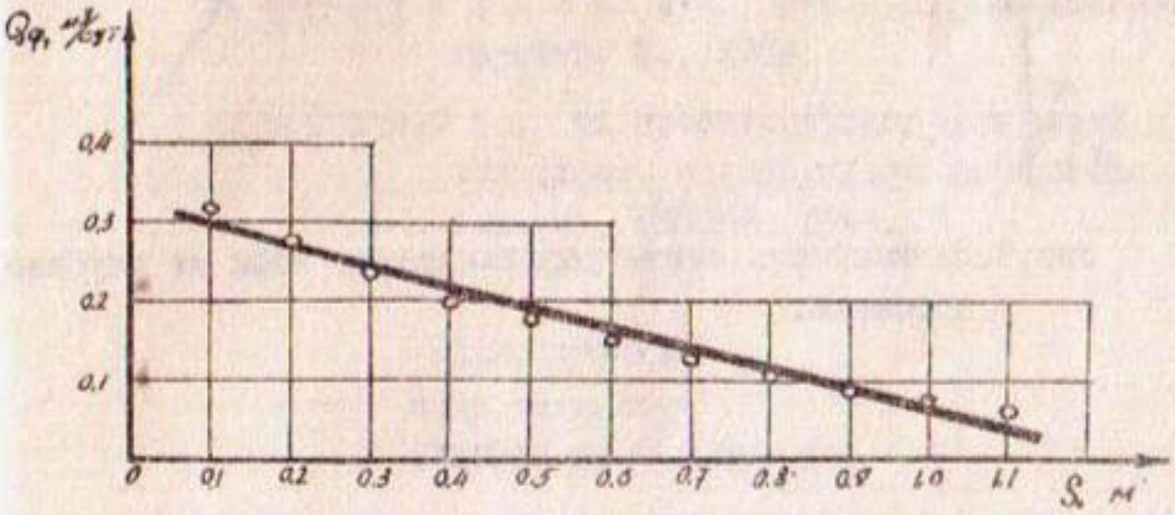


Рис.7. Зависимость фильтрационного расхода (на I м2 пл.) от просадки.

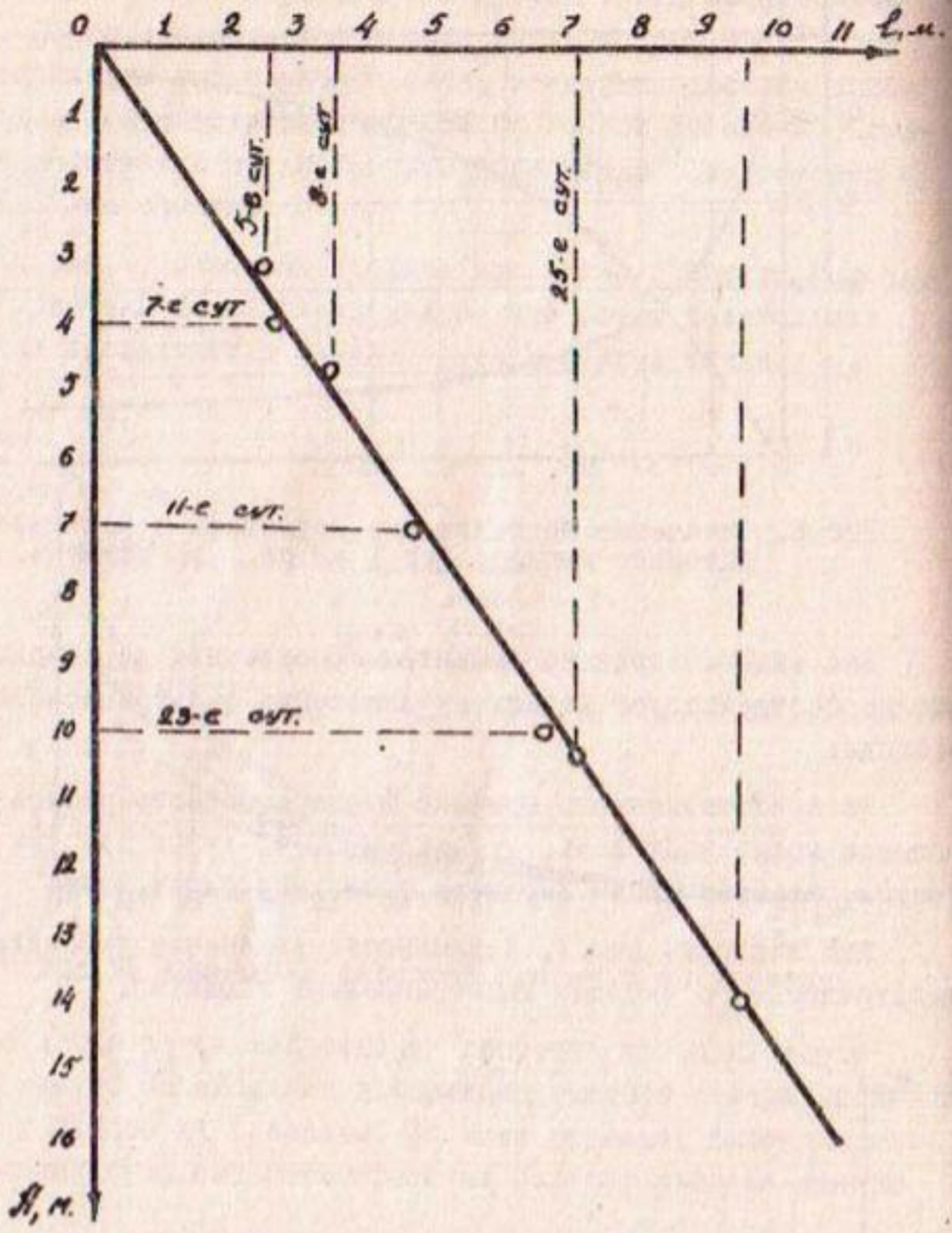


Рис.8. Зависимость длины деформируемой зоны от глубины просадки.

Из рис.I, 2 видно, что время начала просадки некоторых глубинных реперов и поверхностных марок происходит одновременно. Деформация, углубляясь в толщу, одновременно распространяется в стороны котлована.

Например, репер 4-х метровой глубины начинает просадку на седьмые сутки замочки, трещина на расстоянии 3,3 м образуется на 8-е сутки; репер IO-метровой глубины начал деформироваться на 23-е сутки, а трещина на расстояние 7 м появлялась на 25-е сутки.

На рис.8 представлена зависимость длины деформируемой зоны от глубины просадки.

Как видно из графика, зависимость имеет прямолинейный характер. Угол распространения просадки в стороны установлен равным 34^{0}.

Литература

I. Мавлянов Г.А. Гинетические типы лессов и лессовидных пород центральной и южной частей Средней Азии и их инженерно-геологические свойства. Ташкент, I958

2. Мустафаев А.А. Каналы на просадочных грунтах. Баку, I96I.

3. Мустафаев А.А. Основы механики просадочных грунтов. М., I978.

4. Пособие по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений на просадочных грунтах. М., НИИОПС, I964.

С.И.СТОРОЖУК
канд.техн.наук
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЛЕЧИВАЕМОСТИ ТРЕЩИН ЯДРА АХАНГАРАНСКОЙ ПЛОТИНЫ

Одной из основных причин, приводящих к разрушению высоких плотин, является возникновение трещин в их ядре

при наполнении водохранилища.

С точки зрения фильтрационной прочности, наиболее опасными являются сквозные поперечные трещины, проходящие через толщу ядра в направлении его низовой грани. Такие трещины могут быть причиной потери водоудерживающей способности плотины и даже ее разрушения в случае неправильно подобранного фильтра. Выявлено, что трещины в глинистом грунте стремятся к самозалечиванию / I - 8 /. Поток воды отделяет эрозируемый материал, оставляя крупные агрегаты в трещине и вынося мелочь в сторону фильтра, кольматируемого ею.

Ядро Ахангаранской плотины выполняется из тяжелого суглинка числом пластичности I4; по данным ВОДГЕО возможно образование в ядре сквозных трещин раскрытием до I0 см.

Разведанный карьерный материал для переходных зон при отсеве фракций до 40 мм содержит 8-I2% мелкозема, являющегося тяжелым сугликом (рис.I). При влажности укладки фильтрового материала, предусмотренного техническим заданием, влажность мелкоземистой части составляет 26-28%, т.е. при влажности в интервале пластичности, при которой сила сцепления между частицами максимальна. Обвалакивая крупные частицы, они создают комковатую макропористую структуру.

Нами были проведены эксперименты по залечиванию крупных горизонтальных трещин раскрытием 3, I5, 20, 32 мм и глубиной до I00 мм.

Величину начальной скорости потока в трещине для экспериментов подсчитывали по зависимости, предложенной В.П. Недригой, М.П.Малышевым

$$V_{тр} = \frac{2 K_{ф} H_{тр}}{0{,}423 \pi \delta \lg \frac{8 H_{тр}}{\delta}}, \text{ см/с},$$

где $H_{тр}$ - глубина воды в трещине от уровня воды в водохранилище;

δ - ширина раскрытия трещины.

Расчеты показали, что в случае использования для переходных слоев грунта крупностью до 20-40 мм при $H_{тр}$ = I0 м возможная скорость в трещине составляет от I,5 до 9,5 см/с при раскрытии 5 - I0 см.

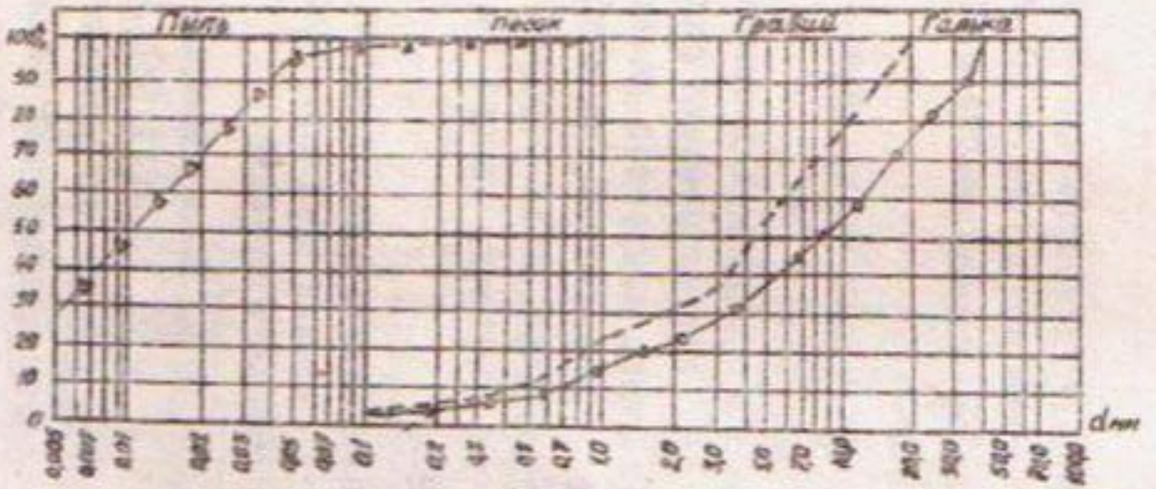


Рис.I.Зерновые составы грунтов:

—— —— гр.44(до фр 20) рассев САНИИРИ

——○—— гр.47(до фр 40) рассев САНИИРИ

——△—— суглинок ядра

Исследования кольматации фильтров в зоне трещин проводили при градиентах от 0,2 до 6. В начале опыта градиент является истинным, однако по мере того, как агрегаты заполняют трещину, величина его, отнесенная к полной высоте трещины, становится условной, так как основная часть напора гасится на закальматированном слое фильтра и в трещине, заполненной размытым агрегированным грунтом.

Критерием закрытия трещин в суглинистом ядре считается уменьшение скорости в трещине более чем в 10 раз с последующим уменьшением и прекращением выноса глинистых частиц при постоянном напоре.

Опыты с горизонтальными трещинами раскрытием 3 мм проводились в горизонтальном лотке $b \times h \times l$ 11,5х х14х56 см (опыт № 1). Для создания сквозной трещины в суглинок объемным весом 1,6 т/м^3 затрамбовывали спицу диаметром 3 мм. После замочки спицу аккуратно удаляли (рис.2,а). В трещину выходили 2 пьезометра, по которым определялся градиент. В ненарушенной части образца также устанавливали пьезометры для фиксации напора на образце ненарушенной структуры.

Учитывая, что коэффициент фильтрации суглинка незначителен, расход, отнесенный к площади трещины, практически будет являться скоростью потока в трещине.

Трещины раскрытием больше 10 мм были замоделированы в горизонтальном лотке $b \times h \times l$ 24,4х25,5х113 см (опыт № 2). Для получения таких трещин при укладке суглинка около плексигласовых стенок закладывали слой соли. При прохождении фильтрационного потока соль быстро растворялась и образовывалась трещина с естественными стенками (рис.2б).

Результаты экспериментов показали следующее.

Первоначально напор на ненарушенном образце грунта превышал напор на трещине. Постепенно напоры выравнялись. В трещине начиналось образование агрегатов глинистых частиц и их перемещение в сторону фильтра. В опыте № 1 при напоре 180 см расход постепенно, за 10 сут. уменьшился в

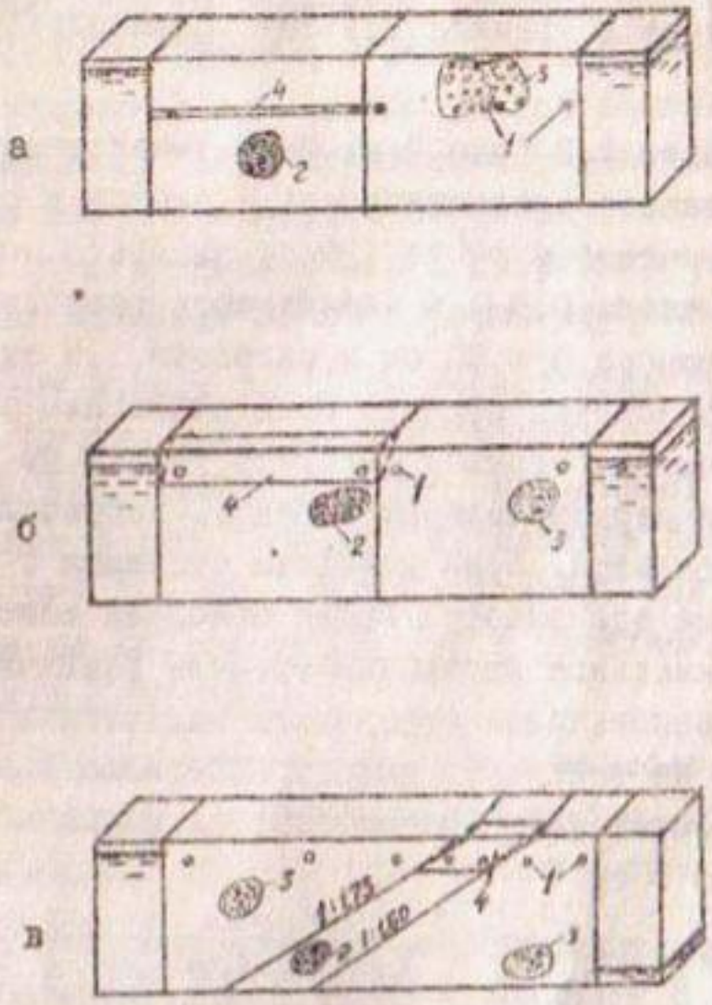


Рис.2.Схема проведения экспериментов по зале-
чиваемости горизонтальных трещин:
1-пьезометры;
2-суглинок ядра;
3-песчано-гравийная смесь;
4-трещина.

50 раз, что свидетельствовало о залечиваемости трещин и кольматации фильтрового материала в зоне трещины. При скорости потока в трещине I,5 см/с начиналась кольматация фильтра.

В опыте № 2 (рис.2,в) было установлено, что при увеличении напора увеличивались и расход и скорость. Каждое поднятие напора с 30 до I20 см вызывало помутнение фильтрата, но через 0,5-I ч наблюдалось осветление потока. Начиная с напора Н = 30 см и скорости I,5 см/с, через плексигласовые стенки прибора было отчетливо видно, что движущийся поток, отрывая агрегаты грунта по всему периметру трещины в первоначальном сечении, переносил их дальше в сторону фильтра. Зона контакта суглинка с фильтром была размыта на всю высоту. Грунт приобрел комковатую структуру. Максимальное раскрытие трещины увеличилось до 20 мм. Трещина заполнялась агрегатами максимальной крупности I5xI8 мм на различную высоту: достигла в начале опыта до 4,5 см, затем уменьшилась до 2 см и уже в конце увеличивалась до 3 см.

Результаты рассева крупнозернистого грунта в зоне контакта с трещиной в обоих опытах показали, что количество частиц меньше 0,I мм в грунте увеличилось всего на 4-5%, это не привело к существенному уменьшению водопроницаемости фильтра.

За 60 сут. проведения эксперимента уменьшения скорости не наблюдалось, что свидетельствует об отсутствии кольматации фильтра и незалечиваемости трещины.

Учитывая, что ядро плотины с обеих сторон соприкасается с переходными слоями, имеющими откосы I ÷ I,75 со стороны верхнего бьефа и I ÷ I,6 со стороны нижнего, нами были проведены следующие эксперименты (рис.2,в).

В большом лотке был выполнен наклонный суглинистый экран с переходными зонами, строго соответствующий проекту. В переходные слои был уложен грунт 44 со стороны верхнего бьефа и 47 ÷ со стороны нижнего бьефа. В опытах с трещиной 3 мм при напоре 90 см эксперимент длился в течение 32 дней. Скорость к концу опыта уменьшилась в 30 раз.

Эксперимент с трещиной раскрытием 20 мм проводился при отсутствии напора со стороны нижнего бьефа. Опыт был начат при скорости в трещине I,5 см/с. Практически сразу начался отрыв агрегатов по периметру трещины и незначительный вынос частиц из фильтра в сторону нижнего бьефа. Наблюдался турбулентный режим движения. При напоре 56 см и скорости в трещине 7,7 см/с происходил усиленный вынос частиц фильтра со стороны верхнего бьефа крупностью до 7 мм в трещину с образованием больших по размеру каверн в области фильтра, примыкающей со стороны верхнего бьефа.

При увеличении напора на I0 см наблюдалось значительное увеличение величины движущихся агрегатов суглинка и расхода. Через 20 мин. скорость резко уменьшилась в I,5 раза. На протяжении 3 сут. скорость оставалась без изменения: размыв трещин практически прекратился. Дальнейшее увеличение напора до I00 см не привело к увеличению скорости и перемещению агрегатов.

Как и в предыдущих опытах агрегаты и вынесенные из фильтра частицы заполняли трещину неравномерно. Грунт ядра не только в трещине, но и по всей высоте образца под трещиной приобрел рыхлую комковатую структуру с объемным весом I,35-I,4 т/м^3 (первоначальный γ = I,6 т/м^3).

По окончании опытов были определены зерновые составы фильтрового материала, расположенного против уложенных в переходные слои трещины со стороны верхнего и нижнего бьефа, по глубине и ширине трещины. Выявлено, что из фильтра со стороны верхнего бьефа вынесены в трещину частицы крупностью до 7 мм, содержание которых в грунте переходного слоя I4%. В грунте ядра под трещиной также имеются частицы фильтрового материала крупностью до 5 мм.

В фильтре со стороны верхнего бьефа отмечается значительное, до II%, уменьшение фракций 0,1-7 мм (рис.3). В фильтре со стороны нижнего бьефа появилось до 5% частиц меньше I мм (до начала опыта также фракции в грунте 47 отсутствовали). Внесение этих частиц не привело к кольматации фильтрового материала. Причем, отмеченные закономерности изменения зернового состава грунтов наблюдаются не только около трещины, а по всей высоте образца вдоль кон-

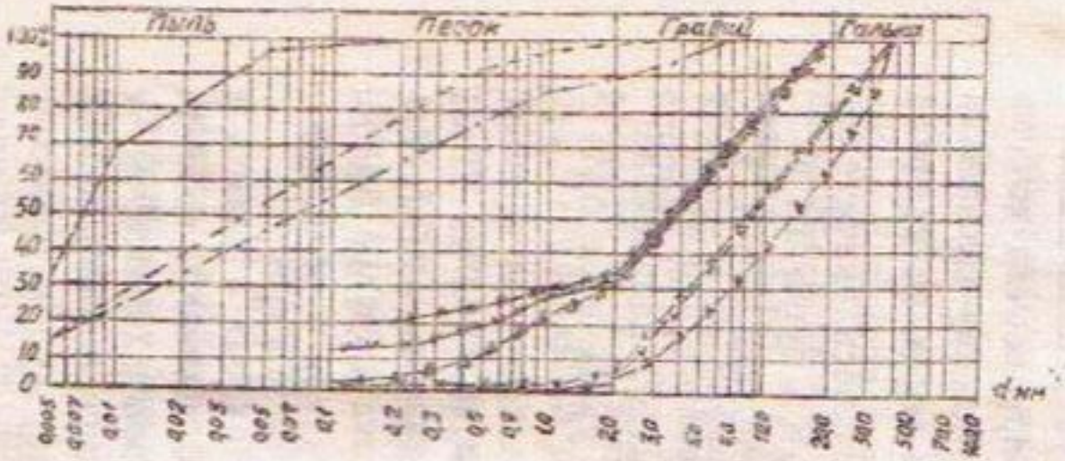


Рис.3.Зерновые составы проб,грунтов,взятые из переходных зон и суглинка ядра по высоте образца и по ширине, равной раскрытию трещины:

—— суглинок ядра; —·—·— суглинок из трещины;
— — суглинок с h =10-15см; —x— фильтр 44(контакт с ядром по ширине раскрытия трещины =20мм,по длине ℓ =10см);—v— ℓ=10-12см;
h -6см,толщина 2см; —▲— фильтр 44;
—x— контакт с фильтром 47; ℓ =14÷24;
—v— контакт с фильтром 47 ℓ =0÷ 14см.

такта переходных слоев, т.е. в зоне, превышающей глубину трещины в 3-4 раза.

Учитывая крупность внесенных в трещину частиц фильтра, очевидно, необходимо, чтобы фильтр со стороны верхнего бьефа имел крупность до 5-10 мм.

Для подтверждения высказанного нами предположения был проведен эксперимент по залечиваемости трещин ядра среднезернистым кварцевым песком крупностью до 5 мм. Песок был уложен со стороны верхнего бьефа. Под действием фильтрационного потока (при напоре 70 см) кварцевый песок довольно быстро, за I,5-2 ч, заполнил трещину образовавшимися агрегатами крупностью до 3-5 мм.Расход в течение получаса уменьшился в 60 раз. Фильтр на данном участке закольматировался. Область под трещиной, подверженная действию фильтрационного потока, была значительно меньше по глубине, чем в предыдущем опыте.

Таким образом, среднезернистый песок создает благоприятные условия для вытекания в трещины, что приводит к прекращению размыва грунта в трещине, а следовательно, и к прекращению потери водоудерживающей способности ядра плотины. Это позволяет нам рекомендовать данный грунт в переходной слой со стороны верхнего бьефа. Фильтр со стороны нижнего бьефа может быть и значительно более крупного состава. Однако при этом должны выполняться следующие условия:

I) непросыпаемость грунта переходного слоя со стороны верхнего бьефа в грунт переходного слоя, расположенный со стороны нижнего бьефа и 2) максимальный диаметр пор переходного слоя со стороны нижнего бьефа может быть практически равен максимальной крупности грунта переходного слоя со стороны верхнего бьефа.

Выводы

Трещины, раскрытием более I0 мм, не способны к самозалечиванию. Следовательно, фильтровой материал под действием фильтрационного потока должен выноситься в трещину и в зону размыва под ней для прекращения дальнейшего раз-

вития фильтрационных деформаций.

Максимальная крупность фракционного состава фильтра должна быть до 5–7 мм при коэффициенте неоднородности $\eta_ф < 10$.

Литература

1. Рекомендации по подбору фильтров в плотинах из крупнообломочных материалов с глинистым ядром или экраном. ВНИИ ВОДГЕО, М., 1970.
2. Хиленков В.Н. "Водоупорные свойства грунтов ядер и экранов высоких плотин". Изд-во "Энергия", Л., 1968.
3. Тейтельбаум А.И., Волохова М.Н. "Прочностные свойства глинистых грунтов и оценка трещинообразования в ядрах плотин". Труды ВОДГЕО, вып.34, М., 1972.
4. Дьяконова Э.Г. "Трещинообразование в глинистых ядрах плотин". Труды ВОДГЕО, вып.34, М., 1972.
5. Буренкова В.В. "Расчет фильтров в плотинах из местных материалов с тонкими ядрами и экранами". Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, ВОДГЕО, М., 1970.
6. Указания по проектированию и подбору гранулометрического состава фильтров переходных зон, защищающих связные (глинистые) грунты, ядер (экранов) высоких и сверхвысоких плотин из местных материалов, ВНИИГ ВСН-01-67 МЭ и ЭСССР.
7. Истомина В.С. Фильтрационная устойчивость грунтов. Изд-во лит. по строительству и архитектуре. М., 1957.
8. Беренкрва В.В. "Исследование плотности глинистого грунта на контакте с крупнозернистым материалом". Труды ВОДГЕО, вып.34, М., 1972.

В.К.СЕВРЮГИН
старший научный сотрудник
В.И.ЛИТВИНОВ
старший научный сотрудник

(НИСТО, САНИИРИ им.В.Д.Журина)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДАЛЬНЕСТРУЙНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ, РАБОТАЮЩЕЙ В ДВИЖЕНИИ С ПОВОРОТОМ СТВОЛА ПО СЕКТОРУ

Для качественного, безэрозийного полива искусственным дождем необходимо, чтобы скорость его выпадения была не выше скорости впитывания влаги почвой. В связи с этим требования к искусственному дождю для различных почвенных и гидромелиоративных условий будут различные. Существующие же дождевальные машины, как правило, рассчитаны для одних заданных условий, которые и определяют область их применения. Исключение составляют дождевальные машины, работающие в движении. Для машин этого типа средняя интенсивность дождя регулируется длиной гона. К ним относится отечественная двухконсольная дождевальная машина ДДА-100МА и целый ряд зарубежных машин, из которых наиболее простыми в конструктивном исполнении являются дальнеструйные / I, 2 /. Машины эти имеют регулируемую интенсивность, что позволяет шире использовать их в зонах с различными почвенными и гидромелиоретивными условиями.

В отечественной практике нет однако достаточного опыта применения дальнеструйных машин, работающих в движении.

С этой целью в САНИИРИ на принципе машины Биг-Скуирт (США) / 3 / был разработан опытный образец (рис.I). Его конструкция состоит из дождевателя ДДН-70, навешенного на трактор ДТ-75МХ (с ходоуменьшителем), и всасывающей линии, разработанной в ГСКБ по ирригации для условий работы машины в движении.

Во время работы машина передвигается вдоль открытого оросителя, осуществляя водозабор и подачу воды на орошаемый участок через струеформирующий ствол, вращающийся по

сектору и направленный в сторону, противоположную направлению движения трактора.

Регулирование интенсивности дождя в опытном образце осуществляется путем изменения длины гона; средний слой дождя регулируется скоростью движения трактора, ширина захвата в сторону снижения максимальной величины, регулируется путем изменения угла сектора поворота ствола. Таким же образом машина настраивается на полив разновеликих площадей и полив в одну сторону от оси движения машины.

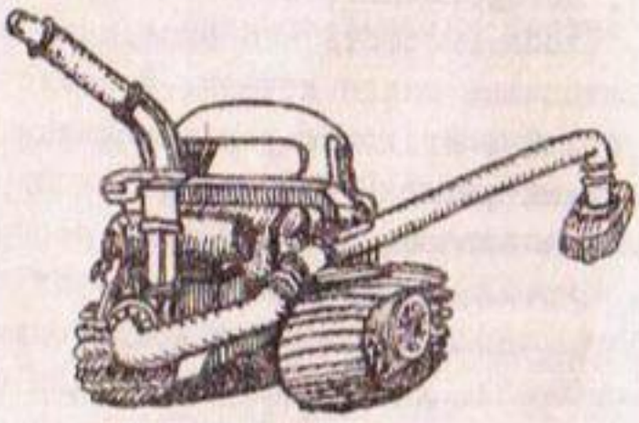


Рис.I. Опытный образец дальнеструйной дождевальной машины, работающей в движении с поворотом ствола по сектору.

При необходимости машина может работать и позиционно на принципе агрегата ДДН-70. Такая универсальность позволяет регулировать интенсивность дождя в широких пределах и тем самым расширить область применения дальнеструйных машин.

Исследование опытного образца машины проводились в совхозе Iа Голодной степи в условиях практического использования на поливе люцерны.

Во время исследований определялись агротехнические характеристики машины по методике ОСТ-П-72, применительно к дождевальным машинам, работающим в движении. Опыты проводились при различных скоростях движения трактора и различ-

них углах поворота ствола по сектору.

Схема машины, работающей с поворотом ствола по сектору 270° изображена на рис.2, а график распределения слоя дождя и частотный графики изображены на рис.3. Техническая характеристика машины для описанного случая представлена в таблице.

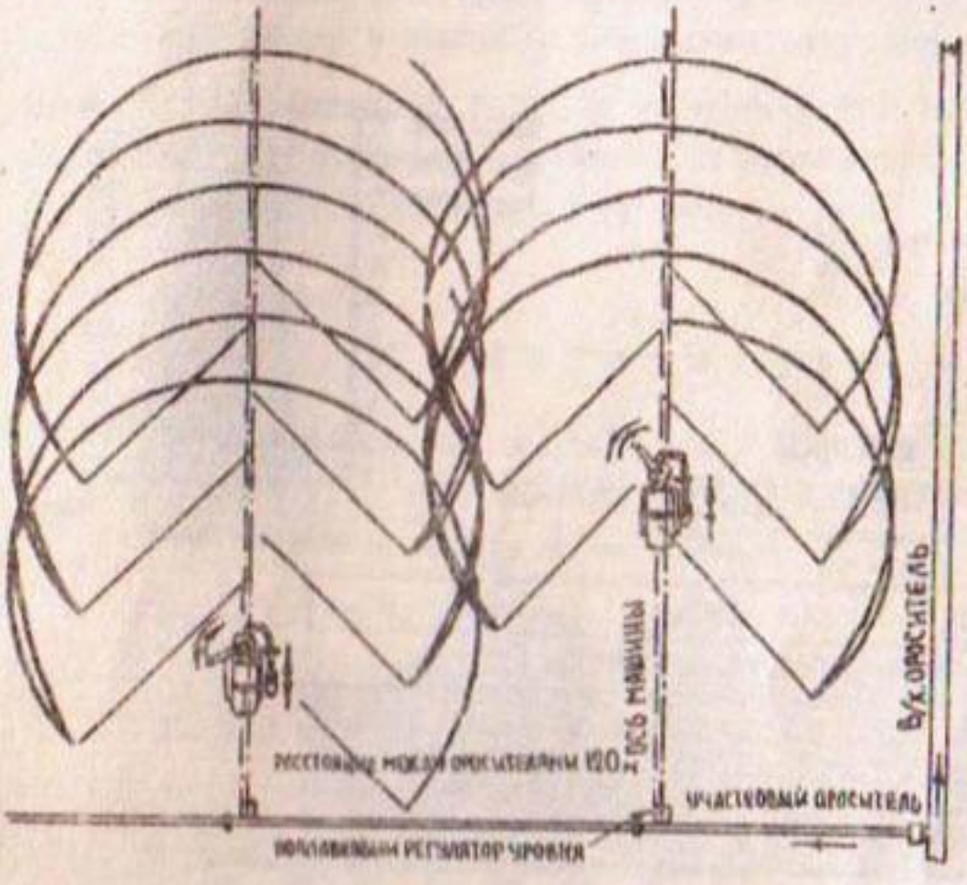


Рис.2. Схема работы дальнеструйной дождевальной машины, работающей в движении с поворотом ствола по сектору на 270°

Таблица

Техническая характеристика	
Производительность, л/с	70
Полный напор, м.в.ст.	51
Расстояние между оросителями, м	120
Ширина захвата по крайним каплям, м	140
Мощность трактора, л.с.	90
Слой осадков за один проход, мм	3,5-8

Средний диаметр капель дождя	I,3-I,9
Коэффициент эффективного полива	0,7-0,8
Вес машины без трактора, кг	900
Балансовая стоимость без трактора, руб.	I000

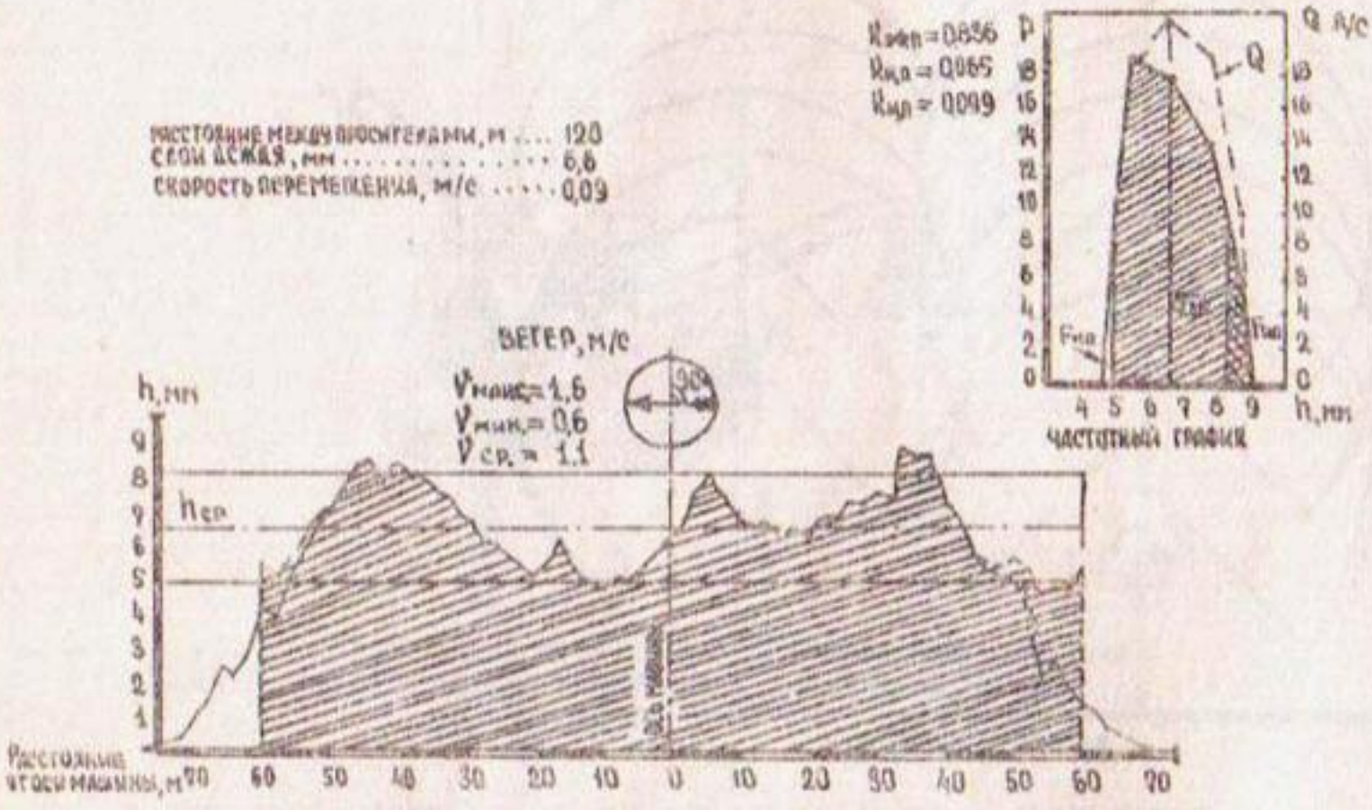


Рис.3. Распределение слоя осадков по ширине захвата дальнеструйной дождевальной машины, работающей в движении с поворотом ствола по сектору на 270°.

Анализируя результаты исследований, отметим, что предлагаемая машина имеет регулируемые характеристики дождя. Машину удобно использовать в хозяйствах, где сеть временных оросителей нарезана неравномерно с расстоянием между оросителями от I20 метров и менее, а так же в

тех случаях, когда требуется поливать участки, расположенные по одну сторону от оросителя или по обе стороны с разной шириной орошаемых площадей.

В целом по результатам исследований можно отметить, что предложенная конструкция вполне работоспособна, обеспечивает высокие агротехнические показатели, позволяющие считать, что машина найдет себе практическое применение на поливе различных сельхозкультур, садопитомников, виноградников, в зонах с умеренным ветровым режимом.

Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения одной машины, в сравнении с серийной дальнеструйной машиной ДДН-70 составит 800 руб.

Литература

I. Краковец В.М., Петерсон Х.Т. Дождевальные машины в США. Ж."Гидротехника и мелиорация", № 6, 1973.

2. Лямперт Г.П. Машины для полива кормовых культур. Ж. "Тракторы и сельхозмашины", № 3, 1975.

3. Лось М.Д., Цымбар А.Ф. Дождевальная машина Биг-Скуирт. Ж. "Гидротехника и мелиорация", № I2, I97I.

Р.Р.АБДУРАУПОВ

О КОМПОНОВКЕ ВОДОЗАБОРНОГО УЗЛА ФЕРГАНСКОГО ТИПА

Формирование русла реки в бытовых условиях связано с режимом жидкого и твердого стоков. При колебаниях расходов и уровней воды образуются сложные русловые формы, вследствие чего происходит блуждание речного потока, ослож-

няющее водозабор. Следовательно, условия водозабора и выбор той или иной схемы компоновки водозаборных узлов диктуются характером формирования русла в реках, чем определяется актуальность изучения русловых процессов в естественных условиях, которое необходимо для учета при разработке схем компоновки водозаборных узлов.

Водообеспеченность оросительных систем зависит от технических возможностей осуществления установленных планом отборов воды из реки с помощью водозаборных сооружений того или иного типа.

Для отбора небольшого процента воды из реки в каналы в зависимости от командных условий и характера течения обычно применяется бесплотинный водозабор, не обеспечивающий большого процента водозабора.

Для осуществления более значительного водозабора создается подпор путем перекрытия русла с помощью бетонных плотин. Плотинные водозаборные узлы сосредоточивают русло реки в небольшой ширине, способствуя ликвидации образования русловых форм и блуждания потока, что создает благоприятные условия для обеспечения планового водозабора и позволяет регулировать уровни воды, жидкий и твердый стоки реки при пропуске паводковых расходов в нижний бьеф.

Обеспечение безнаносного водозабора требует разработки рациональной схемы компоновки водозаборных узлов, выбор которой обусловливается местными природными условиями. Так, при водозаборе в каналы в горно-предгорных условиях не допускаются лишь донные наносы, так как взвешенные могут транспортироваться до поливных борозд.

С учетом сказанного предложен ряд конструктивных решений для водозаборов в горно-предгорных условиях. Так, при использовании народного опыта и научных достижений в области теории поперечной циркуляции разработан ферганский тип водозабора. Первое водозаборное сооружение этого типа - Кампырраватская плотина, проект которой был составлен В.В.Пославским. Строительство осуществлялось под руководством инженеров А.А.Химского, Б.П.Курбанова, С.В.Пугачева и др.

Водозаборные сооружения ферганского типа в дальнейшем усовершенствовались и нашли новое воплощение при проектировании и модельных исследованиях Сарыкурганского узла на р.Сох (исследователь М.С.Вызго, проектировщик С.Н.Оболенский) а также других водозаборных сооружений (Я.А.Никитин, А.Ушаков, В.Н.Шолохов, И.Я.Якштас, З.И.Рядова и др.) / 5, 6 /.

Для усиления борьбы с поступлением донных наносов в каналы через регулятор и увеличения процента водозабора в схему ферганского типа вводились дополнительные элементы в виде порогов и наносоперехватывающих галерей различных форм.

В настоящее время гидроузлы ферганского типа разработаны и построены для самых различных условий, и опыт эксплуатации этих сооружений показал, что борьба с донными наносами на этих узлах осуществляется довольно успешно. Простая и надежная конструкция ферганского типа водозабора получила широкое применение не только на реках Узбекистана, но и других республик, а также за пределами Советского Союза.

При компоновке водозаборного узла ферганского типа подводящее русло подбирается криволинейным - с целью создания условий для возникновения поперечной циркуляции, отводящей донные наносы от порога водоприемника в нижний бьеф. Центральный угол поворота подводящего русла при этом составляет 50^{0}-60^{0}; в конце кривой размещается водозаборный узел сооружения.

На практике угол между фронтами плотины и регулятором составляет 100^{0}-120^{0}, что создает условия для безнаносного водозабора в канал у вогнутого берега и бокового сброса наносов в нижний бьеф. При этом для усиления поперечной циркуляции радиус кривизны наносо-направляющего порога перед водоприемником устанавливается с меньшим радиусом, чем радиус кривизны подводящего русла / 5 /.

В настоящей работе вкратце рассмотрены опыт проектирования компоновки и теория поперечной циркуляции на поворотах русла и предложена обобщенная методика составления

схемы компоновки водозаборного узла ферганского типа.

Р.В.Тимирова / I / рекомендует радиус кривизны подводящего русла рассчитывать по формуле

$$R = 2\frac{Q^{0,5}}{(gid)^{0,25}},$$

(d - средний диаметр наносов у русловой поверхности), а длину подводящего русла - по равенству

$$L = \sqrt{2R_1(R_1+B_y)(1-\cos\alpha) + B_y^2}.$$

Здесь ширина подводящего русла B_y определяется из условия устойчивого протекания потока по формуле С.Г.Алтунина: в начале кривой при расходе 10%-ной обеспеченности, в конце (у плотины) при уменьшении этого расхода на величину водозабора.

Схема компоновки водозаборного узла ферганского типа сооружений может быть составлена также непосредственно из условия развития поперечной циркуляции на повороте. Известно / 2, 3, 4, 5, 6, 7 /, что поперечная циркуляция потока зарождается не сразу, а на некотором расстоянии от начала поворота русла. При центральном угле поворота, примерно 45^0-60^0, поперечная циркуляция успевает полностью развиваться, и ее интенсивность в конце поворота достигает своего максимума. И.И.Леви и И.Л.Розовский интенсивность поперечной циркуляции выражают тангенсом угла отклонения струй, определяемым отношением поперечной составляющей скорости v_z к продольной v_x . Наибольшая интенсивность при различной шероховатости стенок наступает, по Розовскому, при следующих соотношениях:

$$tg\,\theta = (10 \div 12)\frac{H_{ср}}{R} \text{ или } \left(\frac{v_z}{v_x}\right)_{max} = (0,5 \div 0,6),$$

где $H_{ср}$ - средняя глубина наполнения; R - радиус кривизны; $\left(\frac{v_z}{v_x}\right)_{max} = 0,5$ - тангенс угла отклонения поверхностных струй; $\left(\frac{v_z}{v_x}\right)_{max,д} = 0,6$ - то же донных струй.

Для отвода крупных наносов от регулятора канала в нижний бьеф в условиях горно-предгорных зон рек схему компоновки необходимо составить из условия наибольшей интенсивности поперечной циркуляции. При этом регулятор канала располагают фронтально к направлению поверхностных струй, а плоти-

ны - фронтально к направлению донных струй. Тогда угол между фронтами плотины и регулятором составит около 120^0.

Регулятор обычно устанавливают там, где наблюдается поперечная циркуляция, способная отвести от порога донные наносы некоторой крупности; поэтому радиус кривизны порога можно определить из условия интенсивности поперечной циркуляции. Используя интенсивность из двух выражений, И.И.Леви и И.Л.Розовского - получим радиус кривизны подводящего русла:

$$R = \frac{(11 + 12)\ H_{ср}}{(v_z / v_x)_{max}}$$

Здесь при определении радиуса кривизны наносорегулирующего порога за глубину наполнения принимается нормальный напор у плотины, а для радиуса кривизны подводящего русла - средняя глубина по длине криволинейного русла.

Известно, что поперечная составляющая скорости меняет свой знак, примерно, на высоте (0,4-0,7) Н от дна; поэтому гребень наносорегулирующего порога устанавливается на эту высоту. Длина его определяется фронтом регулятора канала. Длина криволинейного подводящего русла (дуги) связана с радиусом кривизны R и с центральным углом поворота α° выражением $L = \frac{\pi R \alpha^\circ}{180^0}$.

При выборе криволинейного подводящего русла с постоянной кривизной принимается наибольшая интенсивность поперечной циркуляции, а за глубину наполнения - ее осредненная величина по длине подводящего русла. Следовательно, в начале кривой $v_z/v_x = 0$, $H = H_б$, в конце (у плотины) $v_z/v_x = 0{,}55$, $H = H_н$; их средние величины, соответственно, $v_z/v_x = 0{,}275$, $H = H_{ср}$. Тогда выражение для случая кривой с постоянным радиусом будет иметь вид $R = 44\ H_{ср}$.

Подводящее русло вычерчивается с этим радиусом по оси с центральным углом поворота 45^0-60^0. Затем определяется ширина подводящего русла в его начале - как обычно, по формуле С.Т.Алтунина (для устойчивого русла), - а в конце кривой, где наблюдается наиболее интенсивная поперечная

циркуляция, эта ширина потока уменьшится на (0,4–0,5) B_y в связи с оттеснением его к вогнутому берегу в зависимости от фронта плотины или компоновки узла сооружений. Ширина вдоль подводящего русла определяется по развертке.

В случае необходимости составления схемы подводящего русла с переменным радиусом по длине расчет надо вести по участкам и для каждого участка найти средние величины глубины и интенсивности поперечной циркуляции с таким расчетом, чтобы в начале каждого кривого участка было $\frac{v_z}{v_x} = 0$, а в конце его $\frac{v_z}{v_x} = \left(\frac{v_z}{v_x}\right)_{max}$.

Примеры расчета. I. Для сравнения используем схему компоновки Сарыкурганского гидроузла. В нашем расчете при $tg\,\theta = \frac{v_z}{v_x} = 0{,}55$ угол между фронтами плотины и регулятора составляет 120^0 (в натуре 106^0). Нормальный напор $H_0 = 3$ м, радиус кривизны порога при этом $R = 60$ м (в натуре 50 м). Радиус кривизны подводящего русла при $H_{ср} = 2{,}5$ м ($H_1 = 2$ и $H_2 = 3$ м) $R = 110$ м (в натуре 110 м); тогда длина подводящего русла $L = 106$ м без учета длины порога (в натуре 150 м). Ширина подводящего русла в начале кривой 50 м; в конце 30 м.

2. Рассмотрим данные Дамходжинского водозаборного узла на р.Карадарье. В нашем расчете угол между фронтами плотины и регулятором составляет 120^0 (в натуре 120^0). Нормальный напор $H_0 = 3{,}61$ м. Радиус кривизны порога $R = 80$ м (в натуре 100 м). Радиус кривизны криволинейного подводящего русла $R = 120$ м (в натуре 200 м), тогда длина подводящего русла, очерченного по дуге радиусом 120 м с углом поворота 65^0, равна $L = 136$ м без учета длины порога. Ширина подводящего русла составит в начале 70 м, а в конце 50 м.

Радиус кривизны подводящего русла в наших расчетах в некоторых случаях отличается от фактических данных, полученных при компоновке гидроузла. Вероятно, интенсивность поперечной циркуляции у них отличалась от принятой нами в изложенных выше примерах. В связи со сказанным возникает необходимость установления связи интенсивности поперечной циркуляции с крупностью частиц наносов, сбрасываемых в нижний бьеф плотины.

Литература

1. Мухамедов А.М., Абдураупов Р.Р., Тимирова Р.З. Регулирование наносного режима при эксплуатации низконапорных гидроузлов и принципы их компоновки (на примере рек Средней Азии). Некоторые вопросы развития мелиорации в СССР. М., Изд-во "Колос", 1975.

2. Кондратьев Н.Е., Ляпин А.Н., Попов И.В., Пиньковский С.И., Федоров Н.Н., Якунин И.И.. Русловой процесс. Л., Гидрометеоиздат, 1959.

3. Розовский И.Л. Движение воды на повороте открытого русла. Киев, Изд-во АН УССР, 1957.

4. Абдураупов Р.Р. Юбилейный сборник "50 лет научно-исследовательской работы САНИИРИ", Изд-во Узбекистан, Ташкент, 1976.

5. Ушаков А.П., Шолохов В.Н., Якштас И.Я. Водозаборные узлы ферганского типа. Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1962.

6. Даневия Н.Ф. Водозаборные сооружения на реках с обильными донными наносами. М., Изд-во "Колос", 1964.

7. Лев И.И. Динамика русловых потоков. М.,-Л., Госэнергоиздат, 1957.

Р Е Ф Е Р А Т Ы

к сборнику научных трудов, выпуск 157
(Новая техника в эксплуатации гидромелиоративных систем)

УДК 626.658.589.011.46

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ - ВАЖНЫЙ РЕЗЕРВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

А.В.Бочарин, В.С.Литвинов

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

Приводится технико-экономическое обоснование внедрения технического обслуживания гидромелиоративных систем аридной зоны Средней Азии. На примере отдельных оросительных систем выполнен расчет экономической эффективности технического обслуживания, выражающийся в росте производительности труда и повышении продуктивности орошаемых земель. Предложена методика определения удельных затрат на техническое обслуживание внутрихозяйственных оросительных систем.

Табл.1.

УДК 626.810

К ВОПРОСУ ОПЕРАТИВНОЙ КОРРЕКТИРОВКИ ПЛАНОВ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ ДЕФИЦИТЕ ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

А.В.Бочарин

Сборник научных трудовы, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

Предлагается принцип оперативной корректировки планов водораспределения в вегетационный период на основе лимитов водопотребления, гарантирующих минимум ущерба продуктивности сельхозпроизводства от недостатка оросительной воды.

Ограничение водопотребления рекомендуется устанавливать на основе статистического анализа фактического использования воды и показателей сельхозпроизводства. Приведен пример расчета, показывающий возможность выявления значительного резерва оросительной воды.

Табл.3.

УДК 626.013

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ В КАНАЛАХ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ

В.С.Хачикянц

Сборник научных трудов,вып.157, Ташкент,САНИИРИ,1978.

В статье освещен опыт использования транспортируемых по каналу взвешенных наносов для снижения фильтрации. Канал проходит в мелкопесчаных грунтах, при глубоком залегании бытовых грунтовых вод. Делается вывод, что в аналогичных условиях и при мутности потока 0,7-1,0 кг/м^3 фильтрационные потери на второй год эксплуатации канала могут быть снижены до 0,1-0,2% от головного расхода на 1 км. Рекомендуется технологию работ подчинять требованиям образования наилка.

Иллюстр.2, табл.4, библ. 6.

УДК 626.83.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПОДАЧИ НАСОСНЫМИ СТАНЦИЯМИ КАРШИНСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА ПО УДЕЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АГРЕГАТОВ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ВЫСОТЕ КАЧАНИЯ

К.А.Адылов, И.А.Горев, Л.Р.Речицкая

Сборник научных трудов, вып.157,Ташкент,САНИИРИ, 1978

На основании исследований, проведенных на насосных станциях 1 и 6 Каршинского магистрального канала,

предлагается способ определения расхода водоподачи по удельной производительности насосных агрегатов и геометрической высоте качания. Отклонение расходов, определенных предлагаемым методом, от измеренных вертушкой составляет ±2%.

Иллюстр.I, библ. I.

УДК 627.157: 627.141.1

ХАРАКТЕРИСТИКА ОТЛОЖЕНИЙ НАНОСОВ В РУСЛАХ СЕЛЕНОСНЫХ ВОДОТОКОВ

Т.Жураев, Х.А.Исмагилов

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

Рассматриваются вопросы изменения донных отложений в руслах селеносных водотоков.

В результате исследований определены крупность, гранулометрический состав отложений наносов и изменения среднего диаметра отложений по длине селеносных саев. Для определения среднего диаметра отложений предложена формула в зависимости от уклона водной поверхности.

Иллюстр.3, табл.I, библ. 3.

УДК 626.I.519

РАСЧЕТ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ НИЖНЕГО БЬЕФА

М.Р.Салихов, И.Бегимов

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

Приводятся результаты исследования динамических характеристик дискретной системы автоматического регулирования уровня воды нижнего бьефа; определяется передаточная функция системы с учетом запаздывания в объекте регулирования, а также дается расчет устойчивости по кри-

териям Гурвица. Данные экспериментальных исследований подтвердили теоретические выводы.

Иллюстр. 5.

УДК 626.I.5I9

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ УРОВНЯ ВОДЫ ВЕРХНЕГО БЬЕФА С ЗАТВОРАМИ-АВТОМАТАМИ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

Р.Сим

Сборник научных трудов, вып.I57, Ташкент, САНИИРИ, I978

Приведена математическая модель системы стабилизации в виде совокупности дифференциальных уравнений объекта и затвора-автомата. Исследовано влияние параметров объекта и затвора-автомата в виде коэффициентов их уравнений на устойчивость системы. Выявлено, что процесс стабилизации уровня воды может существенно измениться в зависимости от начального установившегося режима в бьефе, при котором система выведена из состояния равновесия, что необходимо учитывать при расчете, проектировании и настройке затворов-автоматов.

Иллюстр. 2, библ. 4.

УДК 626.83

ТЕХНИЧЕСКОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ НАПРАВЛЯЮЩИХ ПОДШИПНИКОВ КРУПНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ НАСОСОВ

П.Н.Пак, В.С.Безукладников

Сборник научных трудов, вып.I57, Ташкент, САНИИРИ, I978

Приведена схема технического водоснабжения крупных вертикальных насосов, перекачивающих воду рек Средней Азии, несущих большое количество взвешенных твердых наносов.

Даны результаты фракционного и минерало-петрографического анализа состава наносов в перекачиваемой и осветлен-

ной воде Кукмаазарской, Хамзинской № I, Алатской станций и Каршинского магистрального канала (КМК).

Рассмотрена работа горизонтальных отстойников на насосных станциях КМК.

Иллюстр. 4, табл.2, библ.7.

УДК 628.367:631.347.2

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ САМОХОДНЫХ СКРЕПЕРОВ В УСЛОВИЯХ КАРШИНСКОЙ СТЕПИ

Д.Б.Курбанов

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

В статье дается анализ самоходных скреперов ДЗ-11, ДЗ-13 на базе автотягачей МОАЗ-546П и БелАЗ-531 мощностью соответственно 215 и 360 л.с., используемых на капитальной планировке при освоении новых земель в условиях Каршинской степи.

Приведены результаты исследований технологического процесса скреперов и технико-экономические показатели, а также взаимодействие трактора-толкача со скрепером.

Табл.2, иллюстр.2, библ.2.

УДК 628.367:631.347.2

МЕХАНИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВКИ ТРАСС ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДРЕН И ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Ф.Ф.Беглов, В.А.Захарчук, Ю.М.Шалагин,

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

Статья посвящена вопросу подготовки трасс под заданный уклон при строительстве закрытых горизонтальных дрен и оросительных каналов машинами непрерывного действия.

Приведены результаты производственных испытаний опытного образца машины для планировки трасс.

Иллюстр.2, библ. 4.

УДК 627.4

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КАМЕННОГО КРЕПЛЕНИЯ НА РЕКАХ СЕВЕРНОЙ ЗОНЫ СУРХАНДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ УЗБЕКИСТАНА

А.Э.Туракулов

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

Рекомендованы, построены и исследованы новые конструкции берегозащитных сооружений для условий рек Сурхандарьи, выполненные из бетонных блоков и камней различного диаметра.

Особенность предложенных конструкций состоит в том, что поверхность этих сооружений имеет повышенную шероховатость, для гашения скорости потока протекающего вдоль берега.

Рекомендуемые крепления берегов построены на р.Туполанг в Сурхандарьинской области.

УДК 532.5.001.25

О ПРИРОДЕ КОЭФФИЦИЕНТА ШЕЗИ И ПУТЯХ ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

А.А.Кадыров

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

Коэффициент Шези трактуется как физическая величина, пропорциональная отношению $\frac{l_\Delta}{h}$, которое характеризует внутреннюю структуру потока и зависит от взаимодействия твердых границ русла с потоком.

При использовании логарифмической формулы распределения осредненной профильной скорости по глубине И.К.Никитина выводится формула для определения коэффициента Шези в виде

$$C = \frac{7,2}{\eta}\left[\left(0,65\frac{h}{h-\delta}+0,5\right)\lg\frac{h}{\delta} - 0,35\right],$$

где h - глубина потока;
δ - толщина придонного слоя (г.о Никитину).

Производится сравнение опытных данных и натурных измерений с расчетами по указанной формуле.

Иллюстр.2, библ.II

УДК 532.5.001.25

УСТАНОВИВШЕЕСЯ НЕ..ВНОМЕРНОЕ ТЕЧЕНИЕ ВОДЫ В ОТКРЫТЫХ РУСЛАХ С ПЕРЕМЕННЫМ РАСХОДОМ

Ю.Г.Иваненко, А.А.Кадыров, А.Г.Пулатов

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

В работе исследуется самый общий и наиболее сложный случай установившегося одномерного течения воды в открытых руслах - движения с переменным расходом. Излагается метод, позволяющий получать приближенное пошаговое решение начальной задачи.

Выведены разностные формулы, допускающие при получении заданной точности, существенное увеличение фиксированного расчетного шага, по сравнению с любыми другими способами решения того же класса задач, реализованными с использованием разностей схемы Эйлера.

Табл.I, библ.5

УДК 532:627.838

ВЫБОР РАСХОДА ДЛЯ РАСЧЕТА ВЫСОТЫ ВОДОБОЙНОЙ СТЕНКИ, ОБРАЗУЮЩЕЙ "КОЛОДЕЦ" В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ВОДОСБРОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Л.А.Машкович, Б.Г.Маллаев

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

Рассматривается вопрос о выборе расчетного расхода для определения высоты водобойной стенки, образующей водобойный колодец в нижнем бьефе водосбросных сооруже-

ний, работающих при переменных значениях расхода.

Приводятся расчетные графики. Один из них рекомендуется для использования при практических расчетах.

Иллюстр.3, библ.2.

УДК 627.001

ТРАНСПОРТИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ РУСЛОВОГО ПОТОКА И ДЕФОРМАЦИЯ СПРЯМЛЯЮЩЕЙ ПРОРЕЗИ В УСЛОВИЯХ АМУДАРЬИ

А.М.Мухамедов, Х.А.Ирмухамедов, Г.И.Черникова

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

Уточнена связь мутности с гидравлическими элементами потока и основными факторами руслового процесса, на основе которой получены расчетные зависимости для определения размеров спрямления.

Иллюстр.2, библ.5.

УДК 627.001

ВЛИЯНИЯ НАСЫЩЕННОСТИ НАНОСАМИ НА КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА

А.М.Мухамедов, Т.Жураев

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

Приводятся результаты экспериментальных исследований движения чистого потока и потока с наносами, а также влияния насыщенности наносами на его кинематические характеристики.

В результате исследований получены эпюры распределения продольных скоростей по глубине потока и определено сопротивление движению воды для чистого и наносонесущего потоков, а также графическая зависимость изменения коэффициента шероховатости от насыщенности потока наносами.

Иллюстр. 3, табл. 3, библ. 4.

УДК 626.01

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ МАСШТАБОВ РАЗМЫВАЕМЫХ МОДЕЛЕЙ РУСЛ РЕК С ИСКАЖЕНИЕМ ПАРАМЕТРА КИНЕТИЧНОСТИ

В.А.Скрыльников, Т.Ю.Губина

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

Излагается метод расчета масштабов искаженных моделей, позволяющий выявить необходимость и возможную степень искажения на модели параметра кинетичности.

Особенностью предлагаемого метода является возможность выполнения расчета как для $F_r \neq idem$, так и для $F_r = idem$, что позволяет расширить диапазон отображения на модели натурных русл.

Иллюстр.2, библ.6.

УДК 626.01

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СПРЯМЛЕНИЯ ИЗЛУЧИН БЕЗ ПЕРЕКРЫТИЯ РЕКИ

Г.И.Черникова

Сборник научный трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

В статье изложены результаты опытов по воспроизведению спрямления излучины на моделях. Установлено влияние расхода реки, угла отвода, уклона и первоначального расхода спрямления на динамику его разработки.

Иллюстр.2, табл.2, библ.2.

УДК 621.6.054

ПРЕДЕЛЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУХОВОДНОГО ВАРИАНТА КЛАПАНА СРЫВА ВАКУУМА В СИФОННЫХ ВОДОВЫПУСКАХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

С.И.Кеберле Б.И.Белесков, Л.А.Гехтер

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

В статье изложена методика расчета устройства, включающего воздуховодную трубу, клапан-вантуз и служащего для срыва вакуума в сифонном водовыпуске насосной станции.

Результаты расчета позволяют определить диапазон изменений уровня воды в напорном бассейне, в котором создаются оптимальные условия работы насосной станции при применении устройства.

Иллюстр. 2, библ. 4.

УДК 532.59

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛН ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ ЛОТКЕ БОЛЬШОЙ ДЛИНЫ

П.П.Листровой

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

Рассматриваются вопросы трансформации положительных волн перемещения, образующихся при пусках и остановках агрегатов насосных станций, при их движении по призматическому руслу. Приводятся эмпирические формулы для определения экстремальных параметров этих волн, в зависимости от начального импульса характеризуемого безразмерным параметром $\mathcal{F}_{z_\Delta}$.

Иллюстр. 6, библ. 8

УДК 626.01

СТРУКТУРА ПОТОКА В КРИВОЛИНЕЙНОМ ПОДВОДЯЩЕМ РУСЛЕ ПРИ ВОДОЗАБОРЕ

Р.В.Тимирова

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

В статье рассматриваются средняя скорость и скорость по глубине потока, позволяющие определить интенсивность подвижки твердой частицы и сепарацию наносов по поперечному сечению подводящего криволинейного русла. Зависимости получены в результате исследований, проведенных в полевых и лабораторных условиях.

Вопросы, затронутые в статье, актуальны, расчетные формулы могут быть использованы при проектировании подводящих русл водозаборных узлов ферганского типа.

Иллюстр.2.

УДК 551.49.

К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕРЕНИИ ПЛОТНОСТИ И ВЯЗКОСТИ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД

Я.С.Мухамедов

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

В связи с возникшей проблемой использования минерализованных вод для орошения путем подпитывания ими чаши водохранилища, рассматривается возможность использования на модели водохранилища водного раствора хлористого натрия в качестве аналога минерализованной воды. Приводятся графики зависимостей плотности и вязкости от концентрации вышеуказанных растворов.

Иллюстр.2, библ. 4.

УДК 624.131.6

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ПРОЦЕССА ПРОСАДКИ В ЛЕССОВЫХ ГРУНТАХ ВТОРОГО ТИПА

М.М.Мирахмедов

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

В работе приводятся результаты натурных экспериментальных исследований и закономерности в ходе просадки в отдельных слоях, об изменении скорости просадки по глубине, зависимости фильтрационного расхода от просадки и о характере распространения просадки в стороны от замачиваемой площади.

Иллюстр. 8, табл. 1, библ. 8.

УДК 626.013

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЛЕЧИВАЕМОСТИ ТРЕЩИН ЯДРА АХАНГАРАНСКОЙ ПЛОТИНЫ

С.И.Сторожук

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

Приводятся результаты исследований залечиваемости трещин ядра Ахангаранской плотины с раскрытием до 32 мм и глубиной до 65 мм. Разработаны требования к зерновому составу переходных зон, исходя из условий их кольматируемости.

Иллюстр. 3, библ. 8.

УДК 631.674.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ДАЛЬНЕСТРУЙНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ, РАБОТАЮЩЕЙ В ДВИЖЕНИИ С ПОВОРОТОМ СТВОЛА ПО СЕКТОРУ

В.К.Сенргин, В.И.Литвинов

Сборник научных трудов, вып.157, Ташкент, САНИИРИ, 1978

Статья содержит материалы исследований дальнеструйной дождевальной машины, работающей в движении с поворотом ствола по сектору и может быть использована в различных гидромелиоративных условиях на поливе различных сельхозкультур, в том числе высокостебельных, садовых питомников, виноградников.

Ожидаемый эффект от внедрения машины в сравнении с серийной машиной ДДН-70 составляет 800 руб/год.

Иллюстр. 3, табл. 1, библ. 3.

УДК 626.01

О КОМПОНОВКЕ ВОДОЗАБОРНОГО УЗЛА ФЕРГАНСКОГО ТИПА

Р.Р.Абдураупов

Сборник научных трудов, вып. 157. Ташкент, САНИИРИ, 1978.

В работе рассмотрены характер формирования руловых форм, их влияние на бесплотинный водозабор, развитие интенсивности поперечной циркуляции по длине криволинейного подводящего русла к гидроузлу. Проанализированы опыт проектирования водозаборных узлов и теория поперечной циркуляции на поворотах русла, на основании чего установлена и предложена обобщенная методика расчета схемы компоновки водозаборного узла ферганского типа, приведены примеры расчета.

Библиогр.7.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Бочарин А.В., Литвинов В.С. Техническое обслуживание мелиоративных систем - важный резерв повышения эффективности их эксплуатации и продуктивности орошаемого земледелия..... 3

Бочарин А.В. К вопросу оперативной корректировки планов водораспределения оросительных систем при дефиците оросительной воды..... 10

Хачикянц В.С. К вопросу об использовании взвешенных наносов в каналах для снижения фильтрации..... 16

Адылов К.А., Горев И.А., Речицкая Л.Р. Определение водоподачи насосными станциями Каршинского магистрального канала по удельной производительности агрегатов и геометрической высоте качания..... 32

Хураев Т., Исмагилов Х.А. Характеристика отложений наносов в руслах селеносных водотоков..... 35

Салихов М.Р., Бегимов И. Расчёт и исследование систем автоматического регулирования уровня воды нижнего бьефа..... 41

Сим Р. Исследование систем стабилизации уровня воды верхнего бьефа с затворами-автоматами прямого действия..... 49

Пак П.Н., Безукладников В.С. Техническое водоснабжение направляющих подшипников крупных вертикальных насосов..... 59

Курбанов Д.Б. Исследование работы самоходных скреперов в условиях Каршинской степи..... 67

Беглов Ф.Ф., Захарчук В.А., Шалагин Ю.М. Механизация планировки трасс при строительстве дрен и оросительных каналов..... 72

Туракулов А.Э. Опыт применения каменного крепления на реках Северной зоны Сурхандарьинской области Узбекистана..... 79

Кадыров А.А. О природе коэффициента Шези и путях его определения..... 86

Иваненко Ю.Г., Кадыров А.А., Пулатов А.Г. Установившееся неравномерное течение воды в открытых руслах с переменным расходом..... 98

Машкович Л.А., Маллаев Б.Г. Выбор расхода для расчета высоты водобойной стенки, образующей "колодец" в нижнем бьефе водосбросных сооружений..... 106

Мухамедов А.М., Ирмухамедов Х.А., Черникова Г.И. Транспортирующая способность руслового потока и деформация спрямляющей прорези в условиях Амударьи..... 113

Мухамедов А.М., Жураев Т. Влияние насыщенности наносами на кинематические характеристики турбулентного потока..... 119

Скрыльников В.А., Губина Т.Ю. Расчет основных масштабов размываемых моделей русл рек с искажением параметра кинетичности..... 125

Черникова Г.И. Некоторые результаты лабораторных исследований спрямления излучин без перекрытия реки..... 133

Кеберле С.И., Белесков Б.И., Гехтер Л.А.- Пределы применения воздуховодного клапана срыва вакуума в сифонных водовыпусках насосных станций..... 141

Листровой П.П. Исследования волн перемещения в прямоугольном лотке большой длины..... 147

Тимирова Р.Б. Структура потока в криволинейном подводящем русле при водозаборе..... 157

Мухамедов Я.С. Мухамедов Д.А.-К вопросу об изменении плотности и вязкости минерализованных вод 163

Мирзахмедов М.М. О закономерностях процесса просадки в лессовых грунтах второго типа 167

Сторожук С.И. Исследование залечиваемости трещин ядра Ахангаранской плотины..... 175

Севрюгин В.К., Литвинов В.И. Исследование дальнеструйной дождевальной машины, работающей в движении с поворотом ствола по сектору..... 185

Абдурауппов Р.Р. О компоновке водозаборного узла ферганского типа..... 189

Рефераты к Сборнику научных трудов, выпуск 157... 196

Редакторы: Д.Х.Володина, Р.П.Худаянц, Т.М.Шапошникова

Корректоры: Р.П.Яхъяева, Е. И. Григоренко, К. А. Миракова

Р-05746 Подписано в печать 23.XI.1978г. Формат бумаги 60x90 I/I6
Усл.п.л. I3,25 Тираж 300 экз.Заказ 4I576, Цена 75 коп.Уч. изд. л. 6,8
г.Ташкент, ул.Мукими,№-I76 Картфабрика института "Узгипрозем"