МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

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

НОВАЯ ТЕХНИКА В ЭКСПЛУАТАЦИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ СРЕДНЕЙ АЗИИ

Сборник научных трудов

Выпуск 158

Ташкент — 1979

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО
ХОЗЯЙСТВА СССР

Среднеазиатский ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский институт ирригации
им. В.Д. Журина (САНИИРИ)

НОВАЯ ТЕХНИКА В ЭКСПЛУАТАЦИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ СРЕДНЕЙ АЗИИ

Сборник научных трудов

Выпуск 158

Ташкент - 1979

УДК 627. 01

В сборнике освещаются вопросы эксплуатации гидромелиоративных систем; дается корректировка планов водопользования; приводятся принципы переустройства систем; методы сокращения потерь воды, возможность применения средств автоматики и телемеханики, целесообразность создания АСУ эксплуатации ГМС; определение экономической эффективности использования воды и земли в ГМС; приводятся рекомендации по выбору конструкций гидротехнических сооружений, улучшению методов их расчета.

Книга предназначена для научных работников, проектировщиков и работников службы эксплуатации гидромелиоративных систем.

Редакционная коллегия:

А.А. Кадыров (отв. редактор), Р.Р. Абдураупов, В.И. Антонов (Средазгипроводхлопок), К.И. Белоцерковский, Г.Г. Валентини, Т.И. Дерлятка, А.М. Мухамедов, М.П. Мухтаров, П.Н. Пак, А.Г. Пулатов, В.А. Скрыльников, А.С. Старковский.

(С) Среднеазиатский научно-исследовательский институт ирригации им. В.Д.Журина
1979

Т.И. ДЕРЛЯТКА, канд.техн.наук
А.С. БОРОВЕЦ, инженер

САНИИРИ им. В.Д. Журина

ПРИНЦИПЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖДУ РЕГИОНАМИ СРЕДСТВ НА ПЕРЕУСТРОЙСТВО ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Предпосылки наиболее эффективного вложения средств в переустройство гидромелиоративных систем закладываются еще на стадии планирования этого мероприятия. Задача может иметь два решения. Первое, наиболее эффективное и сложное, предусматривает определение общего объема финансирования переустройства в зависимости от возможностей народного хозяйства, соотношения затрат на переустройство и другие способы увеличения продукции сельского хозяйства, в том числе на освоение новых земель. Одним словом, это решение учитывает комплекс народнохозяйственных задач и устанавливает оптимальный размер ассигнований на переустройство.

Другое решение, более простое, заключается в наиболее эффективном распределении известного объема финансирования между потенциальными объектами переустройства. Такая задача решена в отделе эксплуатации гидромелиоративных систем САНИИРИ.

Планирование средств на переустройство должно осуществляться на двух уровнях: верхнем, при распределении средств между природно-экономическими регионами, и нижнем, при выборе в пределах региона наиболее эффективных объектов переустройства в зависимости от выделенных ассигнований. Ниже рассматривается первый уровень планирования.

В большинстве случаев под природно-экономическими регионами следует понимать административные области (при наличии в республиках областного деления). Области,

как правило, объединяют близкие по природным условиям территории и представляют собой самостоятельные народнохозяйственные единицы, что обеспечивает необходимую информацию для расчетов.

В основу методики распределения средств между областями положен следующий принцип: выделяемый области объем финансирования должен быть пропорционален ожидаемому эффекту от переустройства, эффективности капиталовложений, уровню экономического развития сельского хозяйства и обеспеченности области строительной индустрией. Первые два положения очевидны и не требуют объяснения. Необходимость учета уровня экономического развития обусловлена тем, что переустройство является важным средством повышения уровня развития наиболее отсталых регионов. Поэтому, чем менее развит регион, тем большее внимание должно быть обращено на переустройство гидромелиоративных систем, обеспечивающее базу для дальнейшей интенсификации сельского хозяйства.

Осуществление переустройства требует выполнения большого объема работ, что немыслимо без достаточного количества строительных предприятий. Поэтому, планируя переустройство, необходимо сосредотачивать капиталовложения в тех регионах, где уже имеется строительная база, так как создание ее – дело трудоемкое и длительное.

Для планирования переустройства нужны надежная информационная база и методика расчета, позволяющая учитывать складывающуюся оперативную обстановку. Поэтому предложенный метод основан на использовании существующей официальной отчетности и укрупненных показателей, разработанных нами на основе имеющихся литературных и нормативных рекомендаций.

Последние годы получило всеобщее признание комплексное переустройство, охватывающее оросительную, коллекторно-дренажную, дорожную сеть и планировку поверхности поливных участков. При этом подразумевается, что, хотя переустраиваются все эти элементы, основное внимание в части повышения технического уровня и, следовательно, величины

капиталовложений, обращают на те из них, которые обеспечивают максимальную эффективность. Эффективность же зависит от местных природно-экономических условий - в одних регионах более эффективным будет мелиоративное улучшение земель в результате переустройства коллекторно-дренажной сети, в других - повышение водообеспеченности за счет переустройства оросительной сети. Поэтому на первом этапе расчета методикой предусмотрен выбор ведущего, то есть наиболее эффективного, вида работ. Планировка поверхности поливных участков и переустройство дорожной сети с позиции эффективности не сравниваются, так как они в любом случае должны сопровождать два основных вида работ.

Выбор ведущего вида работ производится путем сопоставления величин эффективности капиталовложений при переустройстве оросительной и коллекторно-дренажной сети на одном приведенном гектаре (под приведенным понимается условный гектар, водообеспеченность и мелиоративное состояние которого идентичны существующим). Эффект от переустройства оросительной сети определяется экономией воды, которая используется для повышения водообеспеченности земель и как свободный водный ресурс (если экономия достаточно велика). Эффект от переустройства коллекторно-дренажной сети равен стоимости прироста продукции, полученного благодаря мелиоративному улучшению земель. Ведущим является тот вид работ, эффективность капиталовложений в который выше.

Выбранный вид работ определяет площадь земель, подлежащих переустройству. В тех регионах, где более эффективно повышение водообеспеченности, площадь переустройства равна площади неводообеспеченных систем (под системами подразумевается территория, орошаемая естественными источниками или крупными межхозяйственными каналами). Там, где более эффективны мелиоративные мероприятия, площадь переустройства принимается равной площади мелиоративно неблагополучных земель (по официальной отчетности, к ним относятся слабозасоленные, средне- и сильнозасоленные, солончаки). Из общей площади орошаемых земель при установлении площади переустройства исключаются земли нового освоения и мелкие

хозяйства. Первые из них еще не нуждаются в переустройстве, на вторые не распространяется система государственного финансирования этого мероприятия. После того, как установлена площадь, подлежащая переустройству, определяют возможный эффект от его реализации. Составляющими элементами эффекта являются: повышение урожайности сельскохозяйственных культур благодаря мелиоративному улучшению земель, повышению их водообеспеченности и планировке поверхности; увеличение объема сельхозпродукции за счет полезной площади; экономия водных ресурсов; повышение производительности труда при поливе и механизированных работах в полеводстве. Количественно эффект выражается через его объем и стоимость единицы эффекта.

Стоимость единицы продукции равна среднему по области чистому хозяйственному доходу и налогу с оборота за единицу урожая ведущей культуры. Ведущая культура является базовой для расчета, поскольку она в большей степени чем другие обеспечена нормативно-справочными рекомендациями. Стоимость эффекта от экономии водных ресурсов принимается по их замыкающим оценкам /1/. Экономия трудозатрат оценивается по стоимости человеко-дня поливальщиков и осредненной машино-смены сельскохозяйственных машин.

Эффект переустройства, определяемый отдельно для каждой области, равен

$$Э = \frac{1}{\alpha_{г.д.}} \left(Э_{м.у.} \pm Э_{w} + Э_{п.в.} + Э_{п.} \pm Э_{пт.} \right) + Э_{с.в.} ,$$

где $\alpha_{г.д.}$ – доля ведущей культуры в суммарном чистом доходе растениеводства;

$Э_{м.у.}$ – эффект от улучшения мелиоративного состояния земель;

$Э_{w}$ – эффект от прироста полезной площади;

$Э_{п.в}$ – эффект от повышения водообеспеченности земель;

$Э_{п.}$ – эффект от планировки поверхности поливных участков;

$Э_{п.т.}$ эффект от повышения производительности труда;

$Э_{с.в.}$ эффект от увеличения свободных водных ресурсов.

В этой формуле выражение в скобках представляет собой эффект, подсчитанный по ведущей культуре. Введением коэффициента $\alpha_{т.д.}$ обеспечивается перевод его в целом по растениеводству. Переустройство, естественно, отразится и на других отраслях, однако столь незначительно, что в расчете это не учитывается. Увеличение сбора ведущей культуры в результате мелиоративного улучшения земель определяется по "Временным нормативам прибавки урожая..." /2/ в зависимости от степени засоления почвогрунтов. При этом для средне- и сильнозасоленных земель величина прибавки уменьшается на составляющие, обусловленные планировкой и повышением водообеспеченности, поскольку в указанных выше Нормативах для этой категории земель даны рекомендации по комплексу мероприятий.

Прирост полезной площади обеспечивается вовлечением в оборот неиспользуемых земель (заболоченные участки, солончаки, пастбища и выгоны в пределах орошаемой территории хозяйств) и повышением коэффициента земельного использования (КЗИ). Величина КЗИ после переустройства установлена нами в зависимости от конструкции и удельной протяженности гидромелиоративной и дорожной сети в привязке к сочетаниям уклонов местности и проницаемости почвогрунтов. Эта классификация условий принята по проработкам Н.Т. Лактаева /3/. При определении эффекта от прироста площади учитывается только та ее часть, которая занята под ведущей культурой.

Степень повышения водообеспеченности земель определяется по экономии воды, получаемой в результате переустройства благодаря повышению КПД оросительной сети и техники полива. Прирост урожая определяется по соответствующим Нормативам /2/.

По этим же Нормативам находят прирост урожая от планировки поверхности поливных участков. Площадь, на которой она производится, принимается равной сумме площадей участков размером менее 10 га. Более крупные поливные участки обычно

образованы в результате уже выполненного ранее переустройства и потому, как правило, спланированы.

Сокращение трудозатрат подсчитывается путем сопоставления их существующего состояния с тем, которое будет после переустройства. Последнее для полива определяется исходя из того, что производительность поливальщиков будет в среднем близка производительности на бороздковом поливе, выполяемом с помощью гибких шлангов. Затраты труда на механизированных обработках установлены для наиболее распространенного набора операций по перспективным технологическим картам, для длины гона, соответствующей оптимальной площади поливного участка (10–12 га). За стоимость машино-смены принимается средняя по области в существующих условиях.

Объем свободных водных ресурсов равен экономии воды от повышения КПД оросительной сети и техники полива за вычетом объема на повышение водообеспеченности и орошение площади прироста земель.

Сумма подсчитанного по областям эффекта представляет собой общий республиканский эффект от переустройства. Выделяемые республике ассигнования на переустройство можно было бы разделить между областями пропорционально их доле в общереспубликанском эффекте. Однако в этом случае не учитывались бы упомянутые выше народнохозяйственные требования. В первую очередь необходимо учесть эффективность капиталовложений, так как состав работ в разных областях различен, также как и их эффективность. Коэффициент эффективности капиталовложений определяется по выражению

$$K_э = \frac{Э}{K_{о.с} + K_{кдс} + K_{д.с.} + K_п},$$

где в знаменателе последовательно проведены удельные (на гектар) капиталовложения на переустройство оросительной, коллекторно-дренажной, дорожной сети и планировку поливных участков. На мелиоративно благополучных землях в комплекс работ по переустройству коллекторно-дренажная сеть не входит. Величина удельных капиталовложений установлена нами по существующим "Нормативам..." /4/ в привязке к упоминавшейся выше классификации условий по уклонам местности и проницаемости почвогрунтов.

Для того, чтобы установить долю капиталовложений, выделяемых каждой области, определяется условный эффект, учитывающий эффективность капиталовложений, уровень экономического развития области и ее обеспеченность строительной индустрией:

$$Э_у = Э \cdot К_э \frac{1}{К_{э.р.}} \cdot К_{с.и.},$$

где $К_{э.р.}$ – коэффициент экономического развития области;

$К_{с.и.}$ – коэффициент обеспеченности области строительной индустрией.

Уровень экономического развития может быть выражен разными показателями: удельными мелиоративными или сельскохозяйственными фондами, объемом продукции, доходом или чистым доходом на единицу продукции или площади и т.п. Однако в этом случае не учитываются такие важные показатели, как количество сельского населения и уровень его благосостояния. Поэтому в качестве коэффициента, характеризующего уровень экономического развития, нами принято отношение чистого дохода на душу населения в области к аналогичному среднереспубликанскому показателю. В приведенной формуле этот коэффициент дается в знаменателе, так как чем ниже уровень чистого дохода, тем больше необходимость в переустройстве как мероприятии, обеспечивающем повышение эффективности сельскохозяйственного производства.

Коэффициент обеспеченности строительной индустрией представляет собой отношение удельной (на гектар площади) годовой мощности расположенных в области строительных организаций Минводхоза к аналогичному среднереспубликанскому показателю.

Величина условного эффекта, подсчитанного по последней формуле для каждой области, суммируется в целом по республике. Отношение условного областного эффекта к республиканскому характеризует долю каждой области в этом мероприятии. В соответствии с этим каждой области выделяется часть республиканских ассигнований, соответствующая ее доли в республиканском условном эффекте.

Изложенная методика апробирована на примере расчета распределения средств между областями Узбекистана, выполненного по заданию Минводхоза УзССР. Ниже для иллюстрации приведена заключительная расчетная таблица.

По объему ожидаемого от переустройства эффекта наиболее значительной является КК АССР (16,4%), затем следует Ферганская (14,5%) и Бухарская (14,0%) области. Минимальный эффект приходится на Джизакскую (2,9%) и Ташкентскую (3,8%) области.

Однако, если учесть эффективность капиталовложений, положение существенно меняется. Максимальная часть условного эффекта приходится на Ферганскую область (16,4%), на Бухарскую - (11,7%) и на КК АССР - (11,2%). Такие изменения происходят вследствие того, что при относительно небольшом эффекте (593 руб/га) в КК АССР необходимы одни из самых больших капиталовложений (3730 руб/га). Поэтому эффективность переустройства здесь одна из самых низких (0,159). Самый маленький условный эффект (2,5%) приходится на Ташкентскую область, тогда как в Джизакской он повышается до 6,0. Это объясняется тем, что эффективность капиталовложений в Джизакской области втрое выше, чем в Ташкентской.

Учет уровня экономического развития вносит существенные изменения в удельный вес некоторых областей. Увеличивается значение Ферганской области (до 23,9%) и уменьшается Сырдарьинской (до 4,4%). Это вполне естественно, так как в первой из них самый низкий доход на душу сельского населения, а во второй - самый высокий. По-прежнему на последнем месте по значению переустройства остается Ташкентская область (2,5%), на второе - переходит Хорезмская (12,8%), на третье - Бухарская область (12,6%), а КК АССР отодвигается на четвертое место (10,6%).

Последняя корректировка выполнена с учетом обеспеченности областей строительной индустрией. Как видно из таблицы, учет последнего фактора существенно изменил размещение капиталовложений. На первом месте оказалась Хорезмская (20,7%). затем следует Ферганская (18,1%) и Бухарская (13,7%) области. Удельный вес остальных областей существенно не изменился.

Таблица

Расчет распределения средств между областями УзССР

Области	Эффект		Учет эффективности капиталовложений		
	млн. руб	%	эффективность	условный эффект	%
Ташкентская	34,8	3,8	0,152	5,3	2,5
Сырдарьинская	80,4	8,7	0,286	23,0	10,8
Джизакская	26,7	2,9	0,476	12,7	6,0
Андижанская	64,3	7,0	0,255	16,4	7,6
Наманганская	38,4	4,2	0,226	8,7	3,9
Ферганская	133,2	14,5	0,254	34,8	16,4
Сурхандарьинская	55,6	6,0	0,261	14,5	6,8
Кашкадарьинская	53,4	5,8	0,336	17,9	8,4
Самаркандская	44,7	4,9	0,207	9,3	4,4
Бухарская	128,5	14,0	0,194	25,0	11,7
Хорезмская	108,9	11,8	0,201	21,9	10,3
КК АССР	150,2	16,4	0,159	23,9	11,2
УзССР	919,1	100		213,4	100

Продолжение.

Учет уровня экономического развития			Учет обеспеченности строительной индустрией			Существующее распределение, %
относит. чистый доход	условный эффект	%	относит. обеспеченность	условный эффект	%	
0,90	5,9	2,5	0,74	4,4	2,0	4,5
2,22	10,4	4,4	0,66	6,9	3,0	9,8
1,06	12,0	5,1	0,62	7,4	3,1	1,3
0,89	18,4	7,8	1,00	18,4	8,1	11,9
0,86	10,1	4,3	1,03	10,4	4,6	8,2
0,63	55,2	23,9	0,74	40,9	18,1	14,0
1,51	9,6	4,1	1,64	15,8	7,0	5,6
0,99	18,0	7,7	0,79	14,2	6,2	7,8
0,86	10,8	4,6	0,66	7,1	3,1	4,8
0,84	29,8	12,2	1,04	31,0	13,7	9,8
0,73	30,0	12,8	1,56	46,7	20,7	12,4
0,96	24,9	10,6	0,95	23,6	10,4	10,6
1,00	235,1	100	1,00	226,8	100	100

В результате последнего расчета получены заключительные рекомендации по размещению средств между областями. Представляет интерес сравнение их с существующим положением. Для этого использованы имеющиеся в нашем распоряжении сведения о плановом распределении капиталовложений между областями на 1976 г. В качестве ассигнований на переустройство нами приняты следующие позиции плана: капитальная планировка (в целом по республике 30 млн.руб), мелиоративное улучшение (70 млн.руб) и повышение водообеспеченности (40 млн.руб), при общем объеме 140 млн. руб.

Как видно из таблицы, в ряде областей расхождения между существующей практикой и нашими рекомендациями весьма существенны. Обращает внимание тот факт, что, если распределять финансирование только исходя из объема ожидаемого эффекта (столбец 2), то расхождение значительно меньше.

Учет таких важных народнохозяйственных показателей, как эффективность капиталовложений, уровень развития области и ее обеспеченность строительной индустрией, вынуждает уменьшить ассигнования против существующих в Ташкентской, Сырдарьинской, Андижанской и увеличить в Ферганской, Сурхандарьинской, Бухарской и Хорезмской областях.

Приведенный пример расчета свидетельствует о том, что существующую практику планирования средств на переустройство можно улучшить. Если даже ограничиться только величиной эффекта и эффективностью капиталовложений, что нам представляется вполне бесспорным, то и в этом случае существующая практика распределения средств должна быть усовершенствована.

Литература

1. Егоров и др. Замыкающие оценки водных ресурсов СССР. "Водные ресурсы" № 5, 1973.
2. Временные нормативы прибавки урожая важнейших сельскохозяйственных культур при повышении водообеспеченности существующих оросительных систем, их рекон-

струкции, улучшении мелиоративного состояния и капитальной планировке земель. ВНИИГиМ, НИИПиН, М., 1974.
3. Л а к т а е в Н.Т. Полив хлопчатника, М., "Колос", 1978.
4. Нормативы удельных капиталовложений в водохозяйственное строительство, М., Минводхоз СССР, 1973.

Т.И. ДЕРЛЯТКА, канд.техн.наук
Э.Э. СЕЙТУМЕРОВ, инженер

САНИИРИ им. В.Д. Журина

ОЦЕНКА СУЩЕСТВУЮЩЕГО ССОСТОЯНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ - ОСНОВА ЭФФЕКТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРЕУСТРОЙСТВА

Для эффективного планирования и организации переустройства гидромелиоративных систем нужно знать объем предстоящих работ и площадь, на которой они должны осуществляться. Однако в настоящее время надежных сведений, устанавливающих объемы работ по переустройству, не имеется. Более того, нет и единой методики решения такой задачи. Поэтому не случайно площадь систем, требующих переустройства в Узбекистане, разными организациями оценивается от 1 до 2,3 млн. га. При таком диапазоне не представляется возможным правильно выбрать оптимальный технический уровень систем после переустройства, темпы работ и последовательность их осуществления.

Одним из возможных способов получения информации для планирования переустройства хозяйственных гидромелиоративных систем является оценка их существующего состояния. Такая оценка должна быть объективной и учитывать все обстоятельства, определяющие необходимость переустройства. Кроме того, она не должна быть трудоемкой и требовать специальных

исследований, так как в оценке нуждаются все системы зоны старого орошения.

В соответствии с указанными требованиями в отделе эксплуатации ГМС САНИИРИ в 1978 г. разработана методика оценки существующего состояния хозяйственных гидромелиоративных систем. Ее принципиальная основа состоит в сопоставлении ожидаемого от переустройства эффекта с необходимыми капиталовложениями. Если это соотношение больше нормативной эффективности капиталовложений, объект подлежит переустройству.

Для обеспечения объективности оценки учитывается максимум факторов, характеризующих состояние системы. К этим факторам относятся: мелиоративное состояние земель и затраты на промывку; вегетационная оросительная норма, учитывающая водопотребление; КПД техники полива и оросительной сети; коэффициент земельного освоения (КЗО); коэффициент земельного использования (КЗИ); производительность труда на поливе и на механизированных агротехнических работах; урожайность ведущей культуры и экономические показатели производственной деятельности хозяйств.

Невысокая трудоемкость оценки обеспечивается следующими ее особенностями: в качестве исходной информации используются материалы существующей отчетности плановых, водохозяйственных и сельскохозяйственных органов и самих оцениваемых хозяйств; величина ожидаемого эффекта и необходимых капиталовложений определяется по укрупненным показателям, привязанным к наиболее часто встречающимся сочетаниям природно-экономических условий.

Величина эффекта и размер капиталовложений тесно связаны между собой: чем больше капиталовложения, тем более высокий технический уровень систем может быть обеспечен в результате переустройства и, следовательно, тем больший может быть получен эффект. Однако с увеличением эффекта его прирост обеспечивается все более значительными капиталовложениями. Поэтому показатели систем после переустройства разрабатывались с учетом существующего состояния систем, экономически обоснованного их уровня после переустройства, обеспеченности народного хозяйства строительными материалами и конструкциями. При назначении критериальных уровней факторов оценки (технико-экономических показателей и показа-

телей производственной деятельности хозяйств после переустройства) исходили из следующих условий:

земли должны быть рассолены, а их мелиоративный режим, поддерживаемый соответствующими параметрами переустроенной оросительной и коллекторно-дренажной сети, а также режимом орошения и промывок - устойчиво благополучным;

дренирование территории там, где позволяют местные условия, осуществляется вертикальным и комбинированным дренажем, а в остальных случаях - закрытыми дренами с открытыми собирателями и коллекторами;

оросительная сеть в зависимости от местных условий представляет сочетание земляных, бетонированных, лотковых и трубопроводных каналов (встречающиеся условия /1/ разбиты на пять групп по уклонам поверхности и пять - по проницаемости почвогрунтов); к этим же условиям привязаны схемы временной оросительной сети (схемы полива) и размеры поливных участков; КПД оросительной сети назначается в зависимости от ее конструкции, удельной протяженности и проницаемости почвогрунтов;

полив осуществляется по бороздам с помощью самонапорных гибких шлангов и полужестких трубопроводов, механическая подача воды в них применяется при земляных оросителях в условиях малых уклонов;

в категорию полезной площади нетто переводятся в результате переустройства все солончаки, болота, орошаемые выгоны и пастбища, а также залежи;

величина КЗИ, зависящая от площади полос отвода под оросительную, коллекторно-дренажную и дорожную сеть, устанавливается исходя из критериальной удельной протяженности сети и нормативной ширины полос в привязке к принятой классификации условий по уклонам поверхности и проницаемости почвогрунтов;

производительность труда на поливе устанавливается в зависимости от принятой техники полива, а производительность труда на механизированных агротехнических операциях - соответственно длине гона сельскохозяйственных машин,

зависящего от размеров поливных участков.

Для сравнения оцениваемых объектов, размеры которые могут существенно различаться, факторы оценки выражаются в удельном виде, т.е. приводятся к одному гектару площади нетто после переустройства.

Критерием необходимости переустройства является выполнение условия

$$\frac{Э}{K} > E_н ,$$

где $Э$ – суммарный ожидаемый эффект от переустройства, руб/га;

K – капиталовложения на переустройство оросительной, коллекторно-дренажной и дорожной сети, а также на планировку поливных участков, руб/га;

$E_н$ – нормативный коэффициент эффективности.

Для определения величины капиталовложений нами разработаны удельные Нормативы в привязке к упоминавшимся выше местным условиям. Затраты устанавливались в зависимости от конструкции и удельной протяженности сети по "Нормативам удельных капиталовложений"...12/.

Суммарный ожидаемый эффект от переустройства определяется по выражению

$$Э = \frac{1}{\alpha_q}\left(Э_{м.у.} + Э_{п.в} \pm Э_{\omega} \pm Э_{п.т.}\right) + Э_в^{в.п.} \pm Э_в^{н.в.п.},$$

где $Э_{м.у.}$ – эффект от улучшения мелиоративного состояния земель (равен нулю, если земли мелиоративно благополучны);

$Э_{п.в.}$ – эффект от повышения водообеспеченности земель (равен нулю, если земли водообеспечены);

$Э_{\omega}$ – эффект от увеличения полезной площади (может быть отрицательным, если в результате переустройства существенно увеличивается протяженность КДС, а резервов полезной площади в хозяйстве нет);

$Э_{п.т.}$ – эффект от повышения производительности труда в ведущей отрасли;

$Э_{в.}^{в.п.}$ – эффект от экономии воды в вегетационный период, подлежащей использованию за пределами хозяйства (равен нулю, если сэкономленная вода полностью используется в хозяйстве);

$Э_{в.}^{н.в.п.}$ – эффект от экономии воды в невегетационный период (его величина может быть отрицательной, если в существующих условиях на промывку расходуется недостаточное количество воды);

$\alpha_{д.}$ – доля ведущей отрасли в общем чистом доходе оцениваемого хозяйства.

В приведенной выше формуле элементы переустройства заключенные в скобку, учитывают не только народнохозяйственный эффект, но и реализуемый непосредственно в хозяйстве, а экономия воды в вегетационный и невегетационный периоды обеспечивает эффект только за его пределами. Хозяйственные составляющие эффекта по разработанной методике подсчитываются для ведущей культуры. Это обусловлено тем, что упрощается расчет и, кроме того, для ведущей культуры в большей степени разработан нормативно-справочный материал. Перевод эффекта, подсчитанного для ведущей культуры, к полному производится через указанный выше коэффициент, учитывающий долю ведущей культуры в полном чистом доходе хозяйства.

Эффект от мелиоративного улучшения земель, приведенный к гектару площади нетто после переустройства, равен

$$Э_{м.у.} = (Ч.Д. + Н_0) \frac{\Sigma \Delta y_i^{м.с.} \omega_i^{м.с.}}{\omega_п^{нет}} \alpha_{в.к.},$$

где $Ч.Д.$ – чистый доход в хозяйстве с единицы продукции ведущей культуры;

$Н_0$ – налог с оборота за единицу продукции ведущей культуры, представляющий собой народнохозяйственную составляющую эффекта от мелиоративного улучшения земель;

$\alpha_{в.к.}$ – доля ведущей культуры в общей полезной площади земель после переустройства;

$\Delta y_i^{м.с.}$ – прибавка урожая в результате улучшения мелиоративного состояния земель, соответствующая определенной степени их засоления;

$\omega_i^{м.с.}$ – площадь земель соответствующей степени засоления;

$\omega_{п.}^{нетто}$ – площадь нетто после переустройства.

Величина прибавки урожая устанавливается в зависимости от степени засоления почвогрунтов по имеющимся рекомендациям (если они есть) или по "Временным нормативам прибавки урожая ..." /31.

Эффект от повышения водообеспеченности определяется по выражению

$$Э_{п.в.} = (Ч.Д. + Н_0)\Delta y_{п.в.} K_п n_c \alpha_{в.к.},$$

где $\Delta y_{п.в.}$ – прибавка урожая ведущей культуры в результате повышения водообеспеченности на один полив /31;

n_c – среднее число поливов ведущей культуры за последние 5 лет.

Коэффициент повышения водообеспеченности будет зависеть от того, сколько воды может быть сэкономлено в результате переустройства. Эта экономия определяется изменением КПД оросительной сети и техники полива после переустройства, с учетом возможного изменения водопотребления сельскохозяйственных культур вследствие снижения уровня грунтовых вод при осуществлении мелиоративных мероприятий. При подсчете коэффициента повышения водообеспеченности нужно иметь в виду, что часть сэкономленной воды будет израсходована на полив площади прироста земель.

Величина эффекта от увеличения полезной площади определяется по выражению

$$Э_{ω.} = \frac{(Ч.Д. + Н_0) y_c \cdot \alpha_{в.к.} (\omega_c^{неисп.} - \omega_п^{неисп.})}{\omega_п^{нетто}},$$

где y_c – средняя урожайность ведущей культуры в существующих условиях;

$\omega_c^{неисп.}$ и $\omega_п^{неисп.}$ – площадь неиспользуемых земель (собственно неиспользуемых и полос отвода) до и после переустройства.

В этом расчете считается, что на вновь освоенных землях урожайность будет та же, что и в среднем по хозяйству до переустройства. Возможное повышение ее не учитывается, поскольку на новых землях урожайность всегда ниже, чем на старопахотных.

Увеличение площади земель после переустройства происходит благодаря вводу в оборот таких земель, как солончаки, болота, выгоны, пастбища, залежи, и увеличению КЗИ. Величина КЗИ после переустройства установлена нами в привязке к упоминавшимся выше условиям.

Эффект от повышения производительности труда подсчитывается по экономии затрат труда на поливе после переустройства. Эти затраты сокращаются благодаря применению более производительных способов и средств полива. Затраты на механизированные обработки посевов сокращаются в результате удлинения гона сельскохозяйственных машин благодаря увеличению площади поливных участков. Нормативные затраты машино-смен для оптимальной площади поливного участка установлены В.С. Кирпичниковым.

В тех случаях, когда экономия воды от сокращения потерь в оросительной сети и при поливе больше, чем нужно для повышения водообеспеченности земель хозяйства и орошения прироста земель, часть этой экономии может рассматриваться как дополнительный водный ресурс, подлежащий использованию за пределами хозяйства. Эффект от ее испсльзования подсчитывается пс замыкающим оценкам водных ресурсов /4/.

Таким же образом оценивается эффект от экономии воды в невегетационный период. Объем экономии определяется путем сравнения существующей водоподачи на гектар в невегетационный период с нормативной величиной промывной нормы брутто, учитывающей площадь земель, нуждающихся в промывке и повышение КПД оросительной сети после переустройства.

Применение разработанной методики оценки состояния хозяйственных систем позволяет в первом приближении выбрать наиболее эффективные объекты, в несколько раз сократить объем проектных работ и обеспечить основу планирования мероприятий по переустройству. Однако следует учесть, что точная величина эффекта и эффективности капиталовложений может быть установлена только при составлении проектов.

Настоящая методика проверена при оценке внутрихозяйственных гидромелиоративных систем Пахтаабадского района Андижанской области. При определении общего эффекта были учтены все его составляющие, кроме мелиоративного улучшения земель, так как земли района не засолены и не требуют капитальных мелиоративных мероприятий. Результаты оценки приведены в таблице.

Таблица

Результаты оценки хозяйств Пахтаабадского района Андижанской области

Колхозы	Эффект, руб/га	Капиталовложения, руб/га	Эффективность
"Москва"	154	1980	0,078
им. Ленина	165	1990	0,083
им. Энгельса	178	1980	0,090
"Коммуна"	271	2620	0,103
"Правда"	226	1990	0,114
"Коммунизм"	266	2140	0,124
им. Якубова	259	1980	0,131
им. Ахунбабаева	271	1980	0,137
"Андижан"	382	2630	0,145

Из девяти хозяйств Пахтаабадского района подлежат переустройству только четыре, так как эффективность капиталовложений в остальные ниже кормативной (равной 0,12). Особый интерес представляет то, что по плану развития переустройства Андижанской области в Пахтаабадском районе назначено единственное хозяйство – колхоз "Правда", тогда как эффективность

его не самая высокая и, более того, ниже нормативной. Гораздо более эффективным является колхоз "Андижан": переустройство его обеспечивает максимальный абсолютный эффект и самую высокую эффективность капиталовложений. Если бы при выборе объекта переустройства в Пахтаабадском районе была использована настоящая методика, то был бы выбран объект, обеспечивающий эффективность капиталовложений на 27% большую, чем переустройство колхоза "Правда".

Литература

1. Лактаев Н.Т. Полив хлопчатника. М., "Колос". 1978.
2. Нормативы удельных капиталовложений в водохозяйственное строительство, М., Минводхоз СССР, 1973.
3. Временные нормативы прибавки урожая важнейших сельскохозяйственных культур при повышении водообеспеченности существующих оросительных систем, их реконструкции, улучшении мелиоративного состояния и капитальной планировке земель. М., ВНИИГиМ, ВНИИПиН, 1974.
4. Егоров А.Н. и др. Замыкающие оценки водных ресурсов СССР. "Водные ресурсы" № 5, 1973.

А.В. БОЧАРИН, канд.техн.наук
Т.И. ГОЛУБЕВА, инженер

САНИИРИ им. В.Д. Журина

ПРИНЦИПЫ НОРМИРОВАНИЯ ПОТЕРЬ ВОДЫ НА ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Любое социалистическое предприятие, строящее работу на плановых началах, опирается на нормирование своих потребностей в ресурсах, учитывая и их неизбежные потери. Не являются исключением из этих правил и сельскохозяйственные предприятия (колхозы, совхозы и т.д.), которые в условиях орошаемой зоны должны строить свою работу, исходя из нормирования такого важного природного ресурса, каким является оросительная вода. Но если нормирование потребностей в воде не вызывает особых затруднений, то нормирование ее непроизводительных потерь крайне далеко от совершенства. Объясняется это целым рядом объективных причин, одной из которых является отсутствие простой и надежной методики расчета непроизводительных потерь воды на оросительной системе. По этому вопросу имеется довольно большое количество предложений и рекомендаций /1, 2, 3/. Однако большая часть из них довольно громоздка, требует большого объема исходной информации, которой хозяйство не располагает, другие носят расплывчатый характер, допускают произвольное толкование, порой исходят из неверных предпосылок. Поэтому необходимо изыскивать дальнейшие способы совершенствования методики нормирования потерь воды, один из которых предлагается в настоящей статье.

Основополагающие принципы нормирования потерь воды формируются нами следующим образом:

дифференцирование потерь воды по характерным звеньям оросительной системы;

минимум объема исходной информации;

простота и достаточная точность методики расчета.

Дифференцирование потерь воды вызвано тем, что, во-первых, специфика этих потерь в различных звеньях оросительной системы требует различных методических подходов. Во-вторых, в случаях завышения фактических потерь воды по сравнению с нормативными представляется возможным установить конкретных виновников подобного нарушения, что будет способствовать более рациональному использованию воды.

Другие принципы нормирования потерь воды очевидны и не нуждаются в дополнительном обосновании.

Основными звеньями внутрихозяйственной оросительной системы являются:

внутрихозяйственная оросительная сеть ;

поливные участки.

В общем виде расчетная зависимость по определению КПД оросительной сети выражается формулой

$$\eta = 1 - 0{,}01\,\sigma l_p ,$$

где $\sigma = \frac{A}{Q_p^m}$

(здесь A и m – параметры проницаемости грунтов канала;
Q_p – расчетный расход канала);
l_p – действующая длина канала.

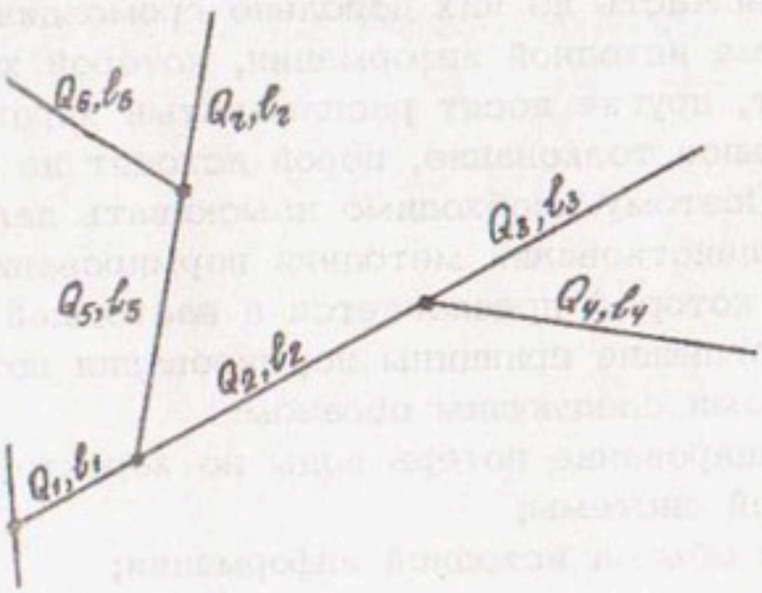


Рис. 1. Типовая схема оросительной сети.

При расчете КПД типовой оросительной сети (рис. 1) наиболее верным решением будет последовательный расчет потерь воды по участкам длиной $l_1, l_2 \dots l_n$ и т.д. с соответствующими расходами $Q_1, Q_2 \dots Q_n$. Однако практически не представляется возможным располагать информацией о внутрихозяйственном распределении воды по расходам и участкам как из-за отсутствия такого подробного водоучета, так и вследствие заметной динамики протяженности работающей сети и частых колебаний расходов. Поэтому целесообразнее идти по пути схематизации действительных явлений, их упрощенного представления.

Для построения типовой схемы оросительной сети проводим ее линейную развертку и строим эпюру изменения расходов по длине (рис. 2). В соответствии с имеющимися рекомендациями / 4 / расчетный расход можно выразить зависимостью

$$Q_p = \frac{Q_1 l_1 + Q_2 l_2 \dots + Q_7 l_7}{l_1 + l_2 \dots + l_7} \qquad (3)$$

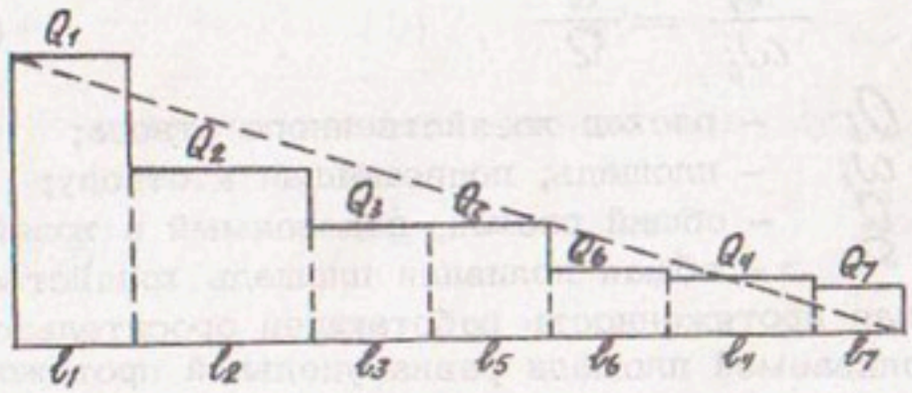


Рис. 2. Линейная развертка типовой оросительной сети.

Площадь эпюры можно приближенно представить в виде

$$Q_1 l_1 + Q_2 l_2 + \dots + Q_7 l_7 = K Q_1 (l_1 + l_2 + \dots + l_7) \qquad (4)$$

Если расчетный расход типовой оросительной сети выразить как функцию головного расхода, т.е.

$$Q_p = KQ_1 , \qquad (5)$$

то относительные потери внутрихозяйственной оросительной сети определятся выражением

$$\sigma l_p = \frac{\sigma_1 l_1 Q_1 + \sigma_2 l_2 Q_2 + \ldots + \sigma_n l_n Q_n}{Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n} , \qquad (6)$$

где $Q_1, Q_2 \ldots Q_n$ – расходы в голове хозяйственных отводов 1, 2 .... n ;

$l_1, l_2 \ldots l_n$ – протяженность работающей сети по каждому отводу.

Для определения потерь введем дополнительные условия:

– удельные расходы воды (на гектар орошаемой площади) для любого отвода равны удельному расходу воды в целом по хозяйству

$$\frac{Q_i}{\omega_i} = \frac{Q}{\Omega} , \qquad (7)$$

здесь Q_i – расход хозяйственного отвода;
ω_i – площадь, подвешенная к отводу;
Q – общий расход, подаваемый в хозяйство;
Ω – общая поливная площадь хозяйства;

– удельная протяженность работающей оросительной сети на гектар поливаемой площади равна удельной протяженности на гектар орошаемой площади в целом по хозяйству, т.е.

$$\frac{l_i}{\omega_{ni}} = \frac{\mathcal{L}}{\Omega} , \qquad (8)$$

где ω_{ni} – поливное задание по i –му хозяйственному отводу;
$\mathcal{L}$ – общая протяженность оросительной сети в хозяйстве.

Первое принятое условие вытекает из основного принципа водораспределения, по которому размер водоподачи прямо пропорционален размеру поливной площади. Это условие может быть не выдержано лишь хозяйствами с большим ассортиментом разнородных сельхозкультур. Для современного сельского хозяйства при резком росте его специализации, большой набор культур не характерен, поэтому условие пропорциональности поливного тока размеру поливаемой площади можно считать не противоречащим действительности.

Второе условие – пропорциональность действующей длины сети размеру поливаемых площадей – не всегда может быть строго выдержано, так как в отдельные моменты поливного периода работающая длина оросительной сети может быть не адекватной размеру поливной площади. Однако в течение достаточно длительного срока, когда последовательно прекращается полив одного массива и подключается другой, второе условие выдерживается с точностью, достаточной для практических целей.

Преобразовав принятые условия, имеем

$$\frac{Q_i}{Q} = \frac{\omega_i}{\Omega} = \alpha_i \quad (9); \quad l_1 = \mathcal{L}\frac{\omega_{ni}}{\Omega} = \mathcal{L}\beta_i \quad (10)$$

Подставив полученные значения в формулу подсчета потерь по длине, получим

$$\sigma l = A\mathcal{L}(K\cdot Q)^m \cdot \left(\alpha_1^{1-m}\beta_1 + \alpha_2^{1-m}\beta_2 + \ldots + \alpha_n^{1-m}\beta_n\right). \quad (11)$$

Принимая долю отводов от общего расхода хозяйства α_i и коэффициент поливного задания по отводам β_i осредненными для характерных периодов (вегетация, невегетация), можно перейти к определению зависимости нормативного КПД хозяйственной сети от условий водопроницаемости (A, m), общей длины сети ($\mathcal{L}$) и условий внутрихозяйственного водораспределения (α_i, β_i), которая будет иметь вид

$$\eta = 1 - \frac{0{,}01\cdot A\mathcal{L}}{(K\cdot Q)^m}\sum_{i=1}^{n}\alpha_i^{1-m}\cdot\beta_i . \quad (12)$$

Для установления величины " K " были выполнены экспериментальные расчеты различных схем оросительной сети общим числом 186 в диапазоне расходов – 0,5–3,0 $м^3/с$, протяженности – 5,0–8,5 км, проницаемости m = 0,3; 0,4; 0,5 и изменения протяженности участковых распределителей, составляющей 30–70% от общей. Расчеты показали, что значения " K " определяет последний фактор и величина коэффициента изменяется в пределах 0,4–0,5. Для его среднего значения, равного 0,44, нами вычислено следующее распределение ошибок от общего числа принятых расчетных схем.

Ошибки %	0–1,0	1,0–2,0	2,0–3,0	3,0–4,0
Частота их распределения %	71,9	19,3	8,6	0,2

Как видно из приведенных данных, подавляющая часть принятых расчетных схем (91,2%) дает погрешности в КПД 0–2,0% и лишь незначительная (8,6%) – увеличивает их до 3%.

Таким образом, расчетное значение нормативного КПД оросительной сети рекомендуется назначать по формуле

$$\eta_{вс} = 1 - \frac{0{,}01\, A \mathcal{L}}{(0{,}44\, Q)^m} \sum_{i=1}^{n} \alpha_i^{1-m} \cdot \beta_i \,. \qquad (13)$$

Для выбора параметров проницаемости грунтов можно воспользоваться данными по гидромодульному районированию орошаемой территории. В частности, для

ГМР 1	A = 3,4;	m = 0,5;
ГМР П, 1У, У1, УШ	A = 1,9;	m = 0,4;
ГМР Ш, У, УП, 1Х	A = 0,7;	m = 0,3.

В случае, когда хозяйство располагает определенной частью совершенной сети, общий КПД оросительной сети определяется по формуле

$$\eta = 1 - \frac{0{,}01\, A \mathcal{L}}{(0{,}44\, Q)^m} \sum_{i=1}^{n} \alpha_i^{1-m} \beta_i \left(1 - \frac{\mathcal{L}_c}{\mathcal{L}} \cdot \gamma\right), \qquad (14)$$

где $\mathcal{L}_c$ – протяженность совершенной сети;

γ – коэффициент эффективности антифильтрационного покрытия.

По рекомендациям ряда авторов (5), γ следует принимать при

монолитном бетоне – 0,67;
монолитном железобетоне – 0,84;
сборном железобетоне – 0,60;
лотках железобетонных – 0,95;
асбестоцементных трубах – 0,80.

Непроизводительные потери воды на поливных участках связаны с несовершенством применяемой техники полива, недостаточной технической подготовленностью поливных участков и рядом организационных причин. Недоучет этих обстоятельств при планировании водопотребления приводит к тому, что фактические поливные нормы намного превышают плановые, в результате хозяйства вынуждены идти на сокращение планового числа поливов в ущерб урожайности.

Идея нормирования КПД техники полива была впервые выдвинута Н.Т.Лактаевым /1/, который предложил численные значения КПД для различных сочетаний природнохозяйственных условий, основываясь на теории бороздкового полива. Однако применять их на практике пока затруднительно из-за отсутствия необходимой исходной информации и разнообразия применяемых режимов орошения.

Нами предлагается более простой метод нормирования КПД техники полива, основанный на анализе и обработке статистических данных по плановым и фактическим поливным нормам.

Как известно, плановая поливная норма брутто складывается из поливной нормы нетто и потерь из оросительной сети, т.е.

$$m^{п}_{бр} = m_н \cdot \eta_c \cdot \qquad (15)$$

Фактически, как указывалось выше, к ним присоединяются потери на поливном участке, т.е.

$$m_{бр}^{ф} = m_{н} \cdot \eta_{с} \cdot \eta_{т}, \qquad (16)$$

где $\eta_{с}$ и $\eta_{т}$ – КПД оросительной сети и техники полива.

Если принять, что плановые и фактические КПД оросительной сети примерно равны, то отношение плановой нормы к фактической и определит нам фактический КПД техники полива:

$$\eta_{т} = \frac{m_{бр}^{п}}{m_{бр}^{ф}}. \qquad (17)$$

Имея достаточно представительный ряд подобной информации, можно установить для конкретных хозяйств, оросительных систем и т.д. среднее значение КПД техники полива.

Порядок расчета рекомендуется вести следующим образом

1. В пределах оросительной системы определяются однородные группы хозяйств по ряду определяющих показателей:

проницаемость почвогрунтов (ГМР);

размер поливного участка;

уклон орошаемого массива;

водообеспеченность.

2. В общую таблицу систематизируются данные по водоподаче, поливным заданиям (плановым и фактическим) за 9 декад критического периода (июнь, июль, август) трех-пяти последних лет.

3. Вычисляются фактические и плановые поливные нормы по формулам

$$m_{i}^{ф} = \frac{W_{ф}}{\omega_{ф}}; \quad m_{i}^{п} = \frac{W_{п}}{\omega_{п}}; \qquad (18)$$

где $W_{ф}$ и $W_{п}$ – фактическая и плановая водоподача за декаду;

$\omega_{ф}$ и $\omega_{п}$ – то же, поливные задания.

4. Устанавливаются текущее и среднее значения КПД техники полива по формулам

$$\eta_i^{\tau} = \frac{m_i^{n}}{m_i^{\phi}}; \quad \eta_{cp}^{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \eta_i^{\tau}}{n}, \qquad (19)$$

где n – общее число расчетных декад.

5. Определяется величина среднеквадратичного отклонения

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\eta_{cp}^{\tau} - \eta_i^{\tau})^2}{n}} \qquad (20)$$

6. Устанавливается расчетное значение КПД техники полива

$$\eta_p^{\tau} = \eta_{cp}^{\tau} + \sigma. \qquad (21)$$

Изложенная методика была применена при расчетах КПД техники полива по данным хозяйств Кашкадарьинской и Самаркандской областей и показала, что величина η^{τ} колеблется в пределах 0,65–0,80, что лежит в диапазоне рекомендаций Н.Т.Лактаева.

Разработанные принципы нормирования потерь воды в хозяйствах и методы их установления предлагаются для целей планирования водопользования и анализа использования воды, что будет способствовать более рациональному и эффективному орошению. Их преимущество заключается в том, что, не уступая в точности имеющимся рекомендациям, они ориентируются на доступные хозяйствам и оросительным системам данные, сравнительно просты и не требуют больших затрат труда.

Литература

1. Лактаев Н.Т. Полив хлопчатника. М,. "Колос", 1932.
2. Кабаков М.М. Потери воды в каналах и реках. Фрунзе, "Кыргызстан", 1967.
3. Натальчук М.Ф. Эксплуатация оросительных систем. М., "Колос", 1971.
4. Ярцев В.Н. Инструкция для производства полевых работ при гидравлических исследованиях на каналах. Ташкент. 1934.
5. Духовный В.А. Комбинированное антифильтрационное покрытие земляных каналов. "Гидравлика и мелиорация" № 3, 1968.

А.В. БОЧАРИН, канд.техн.наук
В.Л. ДЕМИХОВ, инженер

САНИИРИ им. В.Д. Журина

РАСЧЕТ МЕЖХОЗЯЙСТВЕННОГО ВОДООБОРОТА И ОЦЕНКА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

Межхозяйственный водооборот, т. е. установление очередности подачи воды между группами хозяйств взамен непрерывного тока является одним из действенных приемов оперативного водораспределения в условиях дефицита оросительной воды. Его назначение – повысить КПД каналов за счет пропуска форсированных расходов, сокращения работающей длины каналов и времени их работы.

Теория и методы расчета водооборота приведены практически во всех курсах эксплуатации гидромелиоративных систем (1–7). Однако существующие решения имеют ряд существенных недостатков, основными из которых являются

отсутствие рекомендаций по установлению ряда элементов водооборота (расход воды, протяженность работающей сети и ее КПД за такты водооборота, граничные условия);

неверные физические предпосылки в основе оценки эффективности;

незаконченность решений, не позволяющая последовательно и однозначно рассчитать все элементы межхозяйственного водооборота и его эффективность.

Водооборот успешно применяется на практике в критические периоды острого маловодья, например, на канале "Хазарбаг" Сурхандарьинской области, оросительных системах р. Карадарья Андижанской области и др. С возрастающей нехваткой оросительной воды широкое применение водооборота становится необходимым, это способствует эффективному использованию земельно-водных ресурсов. С этой целью нами разработаны практические рекомендации по расчету межхозяйственного водооборота, основанные на дополнении и совершенствовании имеющихся решений.

Представим типовую оросительную систему, состоящую из магистрального канала первого порядка, и системы межхозяйственных каналов последующих порядков, подвешенных к узлам вододеления. Общей для водооборота будет являться схема, когда весь расход магистрального канала последовательно переключается на подпитывание определенной группы межхозяйственных отводов. Общее время работы канала подобным образом принято называть периодом водооборота, а время работы определенной группы отводов – его тактом.

Введем следующие обозначения:

T – планируемый период водооборота;

$t_1, t_2 \dots t_n$ – такты водооборота;

$\mathcal{L}$ – общая длина магистрального канала;

$\mathcal{L}_1, \mathcal{L}_2, \dots \mathcal{L}_n$ – протяженность участков магистрального канала, работающих в соответствующие такты водооборота;

ℓ – общая протяженность межхозяйственной сети;

$\ell_1, \ell_2, \dots \ell_n$ – протяженность межхозяйственной сети, работающей в соответствующие такты водооборота;

$Q_{\phi}^{к}$ и $Q_{\phi i}^{р}$ – фактический расход в голове магистрального канала и межхозяйственных отводов;

$Q_{пi}^{р}$ и $Q_{mi}^{р}$ – плановые и нормальные расходы в голове межхозяйственных отводов;

$Q_{вi}^{р}$ – расходы в голове межхозяйственных отводов при водообороте;

$\eta_н$ и $\eta_в$ – КПД оросительной сети соответственно при ее нормальной работе и водообороте, отвечающие соответствующим расходам.

Как известно, эффективность водооборота оценивается отношением

$$\mathcal{Э} = \frac{1-\eta_в}{1-\eta_н} = \frac{\Delta W_в}{\Delta W_н}, \qquad (1)$$

где $\Delta W_н$; $\Delta W_в$ – абсолютные потери воды при нормальной работе оросительной системы и водообороте соответственно.

При рассмотрении водооборота видно, что характер работы магистрального канала и межхозяйственной оросительной сети различный. Так, магистральный канал работает при постоянном головном расходе и разном его перераспределении в каждый такт водооборота, а протяженность его работающей части увеличивается с каждым последующим тактом ($\mathcal{L}_1, \mathcal{L}_2, \ldots, \mathcal{L}_n$). Межхозяйственные отводы работают в каждый такт повышенными расходами на определенной длине, которая в последующий такт полностью отключается. Это предопределило необходимость раздельной оценки эффективности водооборота.

Для магистрального канала, работающего в нормальных условиях, потери воды можно выразить общеизвестной формулой

$$\Delta W_н' = 0{,}01\,\sigma_н \cdot Q_ф^к \cdot \mathcal{L} \cdot T, \qquad (2)$$

где σ – удельные потери воды на единицу расхода и длины канала.

Для любого действующего канала на основании данных эксплуатационной гидрометрии можно установить график связи $\sigma = f(Q)$, который хорошо апроксимируется известным уравнением вида

$$\sigma = \frac{A}{Q^m}, \qquad (3)$$

где A и m – постоянные величины для данного канала;
Q – расчетный расход канала.

Наши теоретические разработки показали, что если рассматривать участок канала с полным разбором воды, то расчетный расход его с достаточным приближением будет равен

$$Q = 0{,}5Q = 0{,}5Q_ф^к \qquad (4)$$

Таким образом, общие потери воды магистрального ка-

нала при его нормальной работе можно выразить

$$\Delta W_н' = 0{,}01 \cdot M \cdot A (Q_ф^к)^{1-m} \cdot \mathcal{L} \cdot T, \qquad (6)$$

где

$$M = 2^m \qquad (6)$$

Следовательно, удельные потери в первый такт водооборота можно принять

$$\sigma_1 = \frac{M \cdot A}{(Q_ф^к)^m} \qquad (7)$$

Во второй такт общие потери будут складываться из потерь на участках $\mathcal{L}_1$ и $\mathcal{L}_2$, для которых имеем

$$\sigma_2' = \frac{A}{(Q_ф^к)^m}; \quad \sigma_2'' = \frac{M \cdot A}{(Q_ф^к)^m} \qquad (8)$$

Для третьего такта аналогично получаем

$$\sigma_3' = \frac{A}{(Q_ф^к)^m}; \quad \sigma_3'' = \frac{A}{(Q_ф^к)^m}; \quad \sigma_3''' = \frac{A \cdot M}{(Q_ф^к)^m} \qquad (9)$$

В соответствии с принятой схемой потери воды из магистрального канала при водообороте можно представить в виде

$$\Delta W_б' = 0{,}01\, Q_ф^к \left\{ \frac{M \cdot A}{(Q_ф^к)^m} \cdot \mathcal{L}_1 \cdot t_1 + \left[\frac{A}{(Q_ф^к)^m} \cdot \mathcal{L}_1 + \frac{M \cdot A}{(Q_ф^к)^m} \cdot \mathcal{L}_2 \right] \cdot t_2 + \right.$$

$$\left. + \ldots + \frac{A}{(Q_ф^к)^m} (\mathcal{L}_1 + \mathcal{L}_2 + \ldots + \mathcal{L}_{n-1}) \cdot t_n + \frac{M \cdot A}{(Q_ф^к)^m} \cdot \mathcal{L}_n \cdot t_n \right\} \qquad (10)$$

Преобразование последнего выражения приводит к виду

$$\Delta W_в' = 0{,}01 (Q_ф^к)^{1-m} \cdot A \left(M \cdot \sum_{i=1}^{n} \cdot \mathcal{L}_i \cdot t_i + \mathcal{L}_1 \cdot \sum_{i=2}^{n} \cdot t_i + \right.$$

$$\left. + \mathcal{L}_2 \sum_{i=3}^{n} \cdot t_i + \ldots + \mathcal{L}_{n-1} \cdot t_n \right) \qquad (11)$$

Решая условие (1) с учетом уравнений (5) и (7), после элементарных преобразований окончательно получаем выражение эффективности водооборота для магистрального канала

$$Э' = 0{,}5^m \cdot \left(M \sum_{i=1}^{n} \cdot \beta_i' \cdot \gamma_i' + \beta_1' \sum_{i=2}^{n} \cdot \gamma_i' + \beta_2' \sum_{i=3}^{n} \cdot \gamma_i' + \ldots + \beta_{n-1} \cdot \gamma_n' \right), \qquad (12)$$

где

$$\beta_i' = \frac{\mathcal{L}_i}{\mathcal{L}}; \quad \gamma_i' = \frac{t_i}{T}; \quad t_i = \frac{\sum_{i=1}^{c} \cdot Q_{фi}^{р}}{Q_ф^к} \cdot T, \qquad (13)$$

Потери воды в межхозяйственной сети при водообороте можно представить в виде

$$\Delta W_в'' = 0{,}01 \left(Q_{в1} \cdot \sigma_{в1} \cdot l_i \cdot t_i + Q_{в2} \cdot \sigma_{в2} \cdot l_2 \cdot t_2 + \ldots + Q_{вп} \sigma_{вп} \cdot l_n \cdot t_n \right) \qquad (14)$$

где $Q_{вi}$ и $\sigma_{вi}$ – расход в межхозяйственной сети при водообороте и отвечающие ему удельные потери.

В соответствии с принятой схемой водооборота имеем

$$\left. \begin{aligned} Q_{вi} = Q_{в2} = \ldots = Q_{вп} = Q_ф^к \\ \sigma_{вi} = \sigma_{в2} = \ldots = \sigma_{вп} = \sigma_ф \end{aligned} \right\} \qquad (15)$$

Подставляя последнее в уравнение (14), получаем

$$\Delta W_в'' = 0{,}01 \left(Q_ф^к \right)^{1-m} \cdot A \left(l_1 \cdot t_1 + l_2 \cdot t_2 + \ldots + l_n \cdot t_n \right) \qquad (16)$$

При нормальной работе оросительной системы потери воды для соответствующих участков межхозяйственной оросительной сети можно аналогичным образом выразить через уравнение

$$\Delta W_н'' = 0{,}01 \cdot T\left(Q_{нi} \cdot \sigma_{нi} \cdot l_1 + Q_{н2} \cdot \sigma_{н2} \cdot l_2 + \ldots + Q_{нn} \cdot \sigma_{нn} \cdot l_n\right), \quad (17)$$

где $Q_{нi}$ и $\sigma_{нi}$ – расходы в межхозяйственной сети при ее нормальной работе и отвечающие им удельные потери.

Введем дополнительные обозначения

$$\frac{Q_{нi}}{Q_ф^к} = K_i \;, \quad \sigma_{нi} = \frac{A}{\left(Q_{нi}^m\right)} \quad (18)$$

Подставляя их в уравнение (17) и проведя соответствующие преобразования, получаем

$$\Delta W_н'' = 0{,}01A \cdot T\left(Q_ф^к\right)^{1-m} \cdot \left(K_1^{1-m} \cdot l_1 + K_2^{1-m} \cdot l_2 + \ldots + K_n^{1-m} \cdot l_n\right) \quad (19)$$

Обычно группировка межхозяйственных отводов производится таким образом, чтобы расход воды в каждый такт водооборота был примерно одинаков, поэтому можно с достаточным приближением принять

$$K_1 = K_2 = \ldots = K_n = K_{ср.}, \quad (20)$$

$$K_{ср.} = \frac{K_1 + K_2 + \ldots + K_n}{n} = \frac{Q_{н1} + Q_{н2} + \ldots + Q_{нn}}{n \cdot Q_ф^к} = \frac{1}{n} \quad (21)$$

Подставляя последнее в уравнение (19), получаем

$$\Delta W_н'' = 0{,}01 \cdot A \cdot T \cdot l \cdot n^{m-1} \cdot \left(Q_ф^к\right)^{1-m} \quad (22)$$

Решая условие (1) с учетом уравнений (16) и (22), получаем выражение для эффективности водооборота на межхозяйственной распределительной сети

$$\vartheta'' = n^{1-m} \cdot \sum_{i=1}^{n} \beta_i'' \cdot \gamma_i'' \qquad (23)$$

$$\beta_i'' = \frac{l_i}{l}; \quad \gamma_i'' = \frac{t_i}{T}; \quad t_i = \frac{\sum_{i=1}^{c} \cdot Q_{\phi i}^{p}}{Q_{\phi}^{к}} \cdot T; \qquad (24)$$

n – число тактов водооборота.

Расчет начинается с последовательного рассмотрения схем водооборота сначала от простейших, т.е. рассматривается двухтактный, затем трехтактный водооборот и т.д.

Для каждой из намеченных схем устанавливают возможные величины водооборота с различной протяженностью участков магистрального канала ($l_1, l_2, \ldots, l_n$) и числом межхозяйственных отводов, работающих в каждый такт водооборота. При этом варианты водооборота следует назначать таким образом, чтобы в каждый его такт обеспечивалась подача воды в целом по хозяйству, группе хозяйств, району и т.п.

По каждому из намеченных вариантов устанавливаются предварительные значения относительного сокращения потерь отдельно по магистральному каналу (ϑ') и межхозяйственной сети (ϑ'') с помощью формул (12) и (23). В частности, если показатель степени принять $m = 0{,}5$, то для двухтактного водооборота формулы относительного сокращения потерь (2,3) будут иметь вид

$$\vartheta' = 1 + \beta_1' (1{,}29 \cdot \gamma_1 - 0{,}29) - \gamma_1, \qquad (25)$$

$$\vartheta'' = 1{,}41 \left[1 + \beta_1'' (2 \cdot \gamma_1 - 1) - \gamma_1 \right] \qquad (26)$$

Для трехтактного водооборота соответственно

$$\Theta' = 0{,}71\left[1{,}41\left(\beta_1' \cdot \gamma_1 + \beta_2' \gamma_2 + \beta_3' \cdot \gamma_3\right) + \beta_1'\left(\gamma_2 + \gamma_3\right) + \beta_2' \gamma_3\right], \quad (27)$$

$$\Theta'' = 1{,}73\left(\beta_1'' \cdot \gamma_1 + \beta_2'' \cdot \gamma_2 + \beta_3'' \cdot \gamma_3\right). \quad (28)$$

По вычисленным значениям относительных потерь воды при водообороте определяют его общую эффективность по выражению

$$\Theta = \Theta' + \Theta'' \quad (29)$$

Имея общую эффективность водооборота по каждому варианту, устанавливается оптимальный из них с помощью

$$\Theta \rightarrow min \quad (30)$$

Поскольку уравнения (5–10) представлены в безразмерных отношениях, то решение их можно упростить с помощью универсальных графиков (таблиц) вида $\Theta = f(\beta, \gamma, m)$.

Выбранный вариант водооборота должен соответствовать следующим граничным условиям:

коэффициент форсировки расходов межхозяйственных распределителей в каждый такт водооборота должен быть в пределах нормативного

$$K_{\phi i} = \frac{Q_{\phi}^{K} \cdot \eta_{bi}^{K}}{\sum_{i=1}^{c} \cdot Q_{mi}^{P}} \leqslant K_{\phi}^{норм} \cdot \left(K_{\phi}^{норм} - 1{,}2 \div 1{,}3\right), \quad (31)$$

где η_{bi}^{K} – КПД межхозяйственного канала в соответствующие такты водооборота.

продолжительность каждого такта водооборота должна отвечать заданным пределам

$$t_{min} \leqslant t_i \leqslant t_{max}, \quad (32)$$

где t_{min} – минимально необходимая продолжительность полива (не менее двух суток);

t_{max} – максимально допустимое увеличение межполивного периода.

КПД межхозяйственного канала в соответствующие такты водооборота определяются по формуле

$$\eta_{вi} = 1 - K(1 - \eta_н), \qquad (33)$$

$$K = 0{,}5^m(\beta_1' + \beta_2' + \ldots + 2^m \cdot \beta_n'). \qquad (34)$$

В частности, для двухтактного водооборота имеем КПД первого такта

$$\eta_{в1} = 1 - \beta_1(1 - \eta_н) \qquad (35)$$

КПД второго такта

$$\eta_{в2} = 1 - [1 - \beta_1(1 - 0{,}5^m)](1 - \eta_н) \qquad (36)$$

Важным условием применения водооборота является установление продолжительности каждого такта водооборота. Очевидно, чем они длительнее, тем продолжительнее межполивные периоды, что может привести к значительным потерям в урожайности сельхозкультур. В то же время известно, что на практике повсеместно прибегают к увеличению межполивного периода, по сравнению с принятыми режимами орошения, за счет сокращения числа поливов. Это обстоятельство может быть использовано для установления максимальной продолжительности любого такта водооборота с помощью выражения

$$t_{max} = t_{ср} - \sigma, \qquad (37)$$

$$t_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{S} \cdot t_i}{S}, \qquad (38)$$

$$t_i = t_n\left(\frac{\omega_n}{\omega_\phi} - 1\right), \qquad (39)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{S}\left(t_{cp} - t_i\right)}{S}}, \qquad (40)$$

где t_n – продолжительность i –й декады;

ω_n – плановое поливное задание по хозяйствам оросительной системы в i –ю декаду;

ω_ϕ – выполнение заданий на полив в i –ю декаду;

S – число декад, взятых в расчет.

В частности, обработка данных за 1971–1975 гг. по Кашкадарьинской области по предлагаемому методу для наиболее напряженных поливов дала следующие результаты: климатическая зона Ю–1 – 5 суток, Ю–П – 6 суток.

Ограничение тактов водооборота минимальной величиной (t_{min}) обусловлено условием проведения качественного полива. По рекомендации Н.Т.Лактаева (8), для наиболее распространенных сочетаний почвогрунтов и уклонов поливных участков необходимое время полива не должно быть менее 2 суток ($t_{min} > 2$ суток), которое может быть принято при расчете водооборота.

Если выбранный вариант водооборота не отвечает граничным условиям (13, 14), то исполняют аналогичный расчет по следующему варианту и так далее до получения положительных решений.

Для окончательного варианта водооборота уточняются

суммарные расходы межхозяйственных отводов в каждый такт водооборота

$$\sum_{i=1}^{c} Q_{6i}^{n} = Q_\phi^{k} \cdot \eta_{6i}^{k} \; ; \qquad 41)$$

расходы каждого межхозяйственного отвода в каждый такт водооборота

$$Q_{Bi}^{P} = \frac{\sum_{i=1}^{c} \cdot Q_{Bi}^{P}}{\sum_{i=1}^{c} \cdot Q_{ni}^{P}} \cdot Q_{ni}^{P}; \qquad (42)$$

продолжительность каждого такта водооборота

$$t_i = \frac{\sum_{i=1}^{c} \cdot Q_{\phi i}^{P}}{Q_{\phi}^{K} \cdot \eta_{Bi}^{K}} \cdot T \qquad (43)$$

относительные потери магистрального канала и межхозяйственной сети по формулам (7, 8) или по (9, 10);

КПД магистрального канала и межхозяйственной сети при водообороте соответственно

$$\eta_{B}^{K} = 1 - \Theta'\left(1 - \eta_{H}^{K}\right); \qquad (44)$$

$$\eta_{B}^{P} = 1 - \Theta''\left(1 - \eta_{H}^{P}\right); \qquad (45)$$

общий КПД оросительной системы при водооборотах

$$\eta_{B}^{C} = \eta_{B}^{K} \cdot \eta_{B}^{P}; \qquad (46)$$

дополнительный расход воды за счет повышения КПД при водообороте

$$\Delta Q = Q_{\phi}^{K}\left(\eta_{B}^{C} - \eta_{H}^{C}\right); \qquad (47)$$

дополнительные площади поливов сельхозкультур при водообороте

$$\Delta\omega = \Delta Q \cdot q \qquad (48)$$

где q – оросительная способность системы, га на 1 $м^3/с$.

Применение водооборота, помимо сокращения потерь воды на оросительной сети, способствует лучшему использованию воды в хозяйствах. Как правило, сокращение сроков полива при водообороте заставляет хозяйства более тщательно подготовиться к поливу и более организованно его провести, чем в обычных условиях. Ниже приведены значения коэффициентов использования воды по отдельным хозяйствам оросительной системы канала "Хазарбаг" (Сурхандарьинской обл.) в обычных условиях (первая колонка) и при водообороте (вторая колонка)

колхоз им. Калинина	– 0,77	1,08
" им. К.Маркса	– 0,83	1,03
" "Ленинград"	– 0,89	1,03
" им. Энгельса	– 0,73	0,93
" "8 Марта"	– 0,94	1,23
" "Хазарбаг"	– 1,23	1,53

Как следует из приведенных данных, КИВ при водообороте повышается на 14–31% по сравнению с условиями непрерывного тока воды.

Литература

1. Ахмедов Х.А. Основные вопросы орошения и улучшения водопользования, Ташкент, "Узбекистан", 1973.
2. Багров М.Н., Кружилин И.П. Оросительные системы и их эксплуатация, М., "Колос", 1978.
3. Епихин В.К. и [др.]. Составление и проведение планов водопользования, Душанбе, "Ирфон", 1971.

4. К а б а к о в М.И. Потери воды в каналах и реках. Фрунзе, "Кыргызстан", 1967.
5. Н а т а л ь ч у к М.Ф. Эксплуатация оросительных систем. М., "Колос", 1971.
6. О ф ф е н г е н д е н С.Р. и др. Эксплуатация гидромелиоративных систем. М., "Колос", 1972.
7. Ш а р о в И.А. Эксплуатация гидромелиоративных систем. М., "Колос", 1968.
8. Л а к т а е в Н.Т. Полив хлопчатника. М., "Колос", 1978.

Н.Н. МИРЗАЕВ, инженер

САНИИРИ им. В. Д. Журина

РАСЧЕТНЫЙ СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ СВЯЗЕЙ "УРОЖАЙ – ОРОСИТЕЛЬНАЯ НОРМА" ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНОВ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Одним из аспектов проблемы рационального использования дефицитной оросительной воды является задача совершенствования планов водопользования. Решение ее тесно связано с использованием в планировании экономико-математических методов и ЭВМ. Как известно, необходимым условием применения последних является наличие зависимостей типа $y = f(M)$, где y – урожайность, а M – оросительная норма сельскохозяйственных культур /1, 2, 3, 4/.

Так как водоучет в хозяйствах налажен недостаточно, установление этих связей по производственным данным не представляется возможным.

Построение их возможно, во-первых, путем постановки специальных опытов (мелкоделяночных и производственных) и, во-вторых, путем обработки методами математической статистики существующей опытной информации по режимам орошения

сельскохозяйственных культур. Постановка специальных опытов, в особенности многофакторных, очень трудоемкая и длительная работа. Что касается существующего экспериментального материала, то, несмотря на кажущееся его обилие, даже по хлопчатнику, не говоря уже о других культурах, он ограничен и не охватывает всего разнообразия климатических и гидрогеологических условий Средней Азии. Кроме того, на основании опытной информации нельзя определить влияние на урожай организационно-хозяйственных факторов, играющих важную роль в производственных условиях.

Размеры статьи не позволяют подробно остановиться на существующих по этому вопросу проработках /5, 6, 7/. Достаточно заметить, что предложенные модели на современном этапе развития водопользования для целей оптимизации планирования не совсем приемлемы. Обусловлено это тем, что они предназначены для отдельных сельскохозяйственных культур, носят локальный характер, либо требуют дополнительной информации, получение которой в настоящее время в должном объеме очень сложно.

В связи с этим возникает необходимость в достаточно универсальном методе, позволяющем на основе минимума информации, имеющегося в хозяйствах и в нормативных документах, построить расчетные зависимости $y = f(M)$ для различных культур, климатических зон (КЗ) и гидрогеологических районов (ГГР).

Ниже предлагается метод, в основу которого положены следующие гипотезы.

1. Зависимости $y = f(E)$ имеют параболический вид

$$E = M_0 + M,$$

где E – суммарное водопотребление культуры;

M_0 – водопотребление культуры за счет осадков, грунтовых вод, почвенной влаги;

M – водопотребление культуры за счет орошения (оросительная норма).

2. Зависимости $y = f(E)$ при одинаковом уровне плодородия почв для одной и той же культуры, выращиваемой в различных ГГР и КЗ, идентичны (рис. 1).

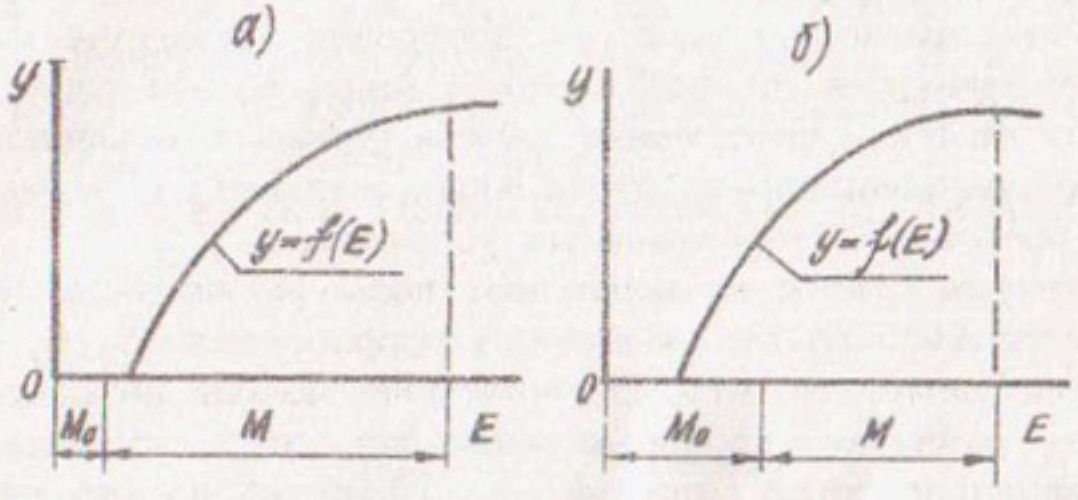


Рис. 1. Схемы зависимостей урожайности культур от водопотребления: а) глубокое залегание грунтовых вод; б) близкое залегание грунтовых вод

3. При одинаковых КЗ и ГГР и разных уровнях плодородия почв равное ущемление в водопотреблении культуры влечет равные (%) потери в урожайности.

Для оптимизации водопотребления, как было отмечено выше, нас интересуют зависимости $y = f(M)$. Путем статистической обработки опытных данных по Аккавакской опытной станции, расположенной в Ш гидромодульном районе, получена корреляционная зависимость $y = f(M)$ для хлопчатника (рис. 2):

$$y = -66 \times 10^{-6}\ м^2 + 0{,}01144\ м - 3{,}33 \qquad (1)$$

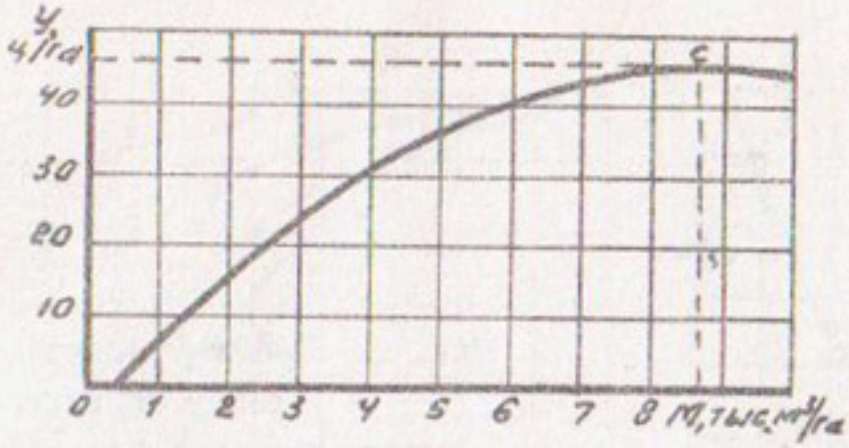


Рис. 2. Зависимость урожайности хлопчатника от оросительной нормы

Если урожайность брать в процентах от максимального его значения, а оросительную норму – в процентах от водопотребления, соответствующего максимальной урожайности, зависимости $y = f(M)$ принимают более обобщенный характер:

$$Z = f(t),$$

где $Z = y / y_{max}$, $t = M / M_{опт}$.

Так как зависимость $Z = f(t)$ тоже имеет параболический вид, то ее можно записать так:

$$Z = -\alpha (t-1)^2 + 1. \qquad (2)$$

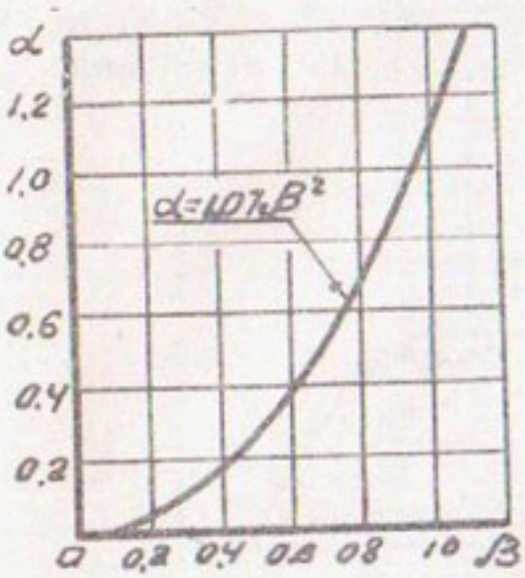
Для уравнения (1) $\alpha = 1{,}07$.

Задача заключается в том, чтобы, основываясь на уравнении (1), получить обобщенную зависимость (2) для различных культур, ГГР и КЗ.

Для этого достаточно кривую на рис. 2 сдвинуть параллельно самой себе вдоль оси абсцисс на величину $(1 - \beta) M_{опт.}$ (если $\beta > 1$, сдвиг происходит вправо, если $\beta < 1$, то влево) и на основании новых кривых построить связи $Z = f(t)$.

Установлено, что α подчиняется зависимости (рис. 3)

$$\alpha = 1{,}07 \beta^2.$$



(3)

Рис. 3. График зависимости между величинами α и β

Величина $$\beta = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 , \qquad (4)$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от вида возделываемой культуры.

Нами принимаются значения K_1, предложенные институтом "Средазгипроводхлопок" /8/.

K_2 – гидрогеологические переводные коэффициенты, принимаемые в соответствии с данными В.Е.Ерёменко /9/;

K_3 – коэффициент, зависящий от продолжительности оросительного периода /8/.

На основе формулы (3) можно определить значения α при различных сочетаниях $K_1 . K_2, K_3$ и построить совокупность кривых $\alpha = f(t)$.

На графике (рис. 4) приведены зависимости $Z = f(t)$ для хлопчатника, возделываемого в зоне Ц-П при различной глубине залегания грунтовых вод.

Умножая $M_{опт.}$ на значения t, а $y_{макс.}$ на значения Z, согласно (2) вычисляем координаты кривой зависимости урожая от оросительной нормы в абсолютных величинах.

На рис. 5 (для хлопчатника) и 6 (для прочих культур) приведены некоторые примеры построения расчетных зависимостей $y = f(M)$ по опытным данным, полученным в различных специализированных НИИ.

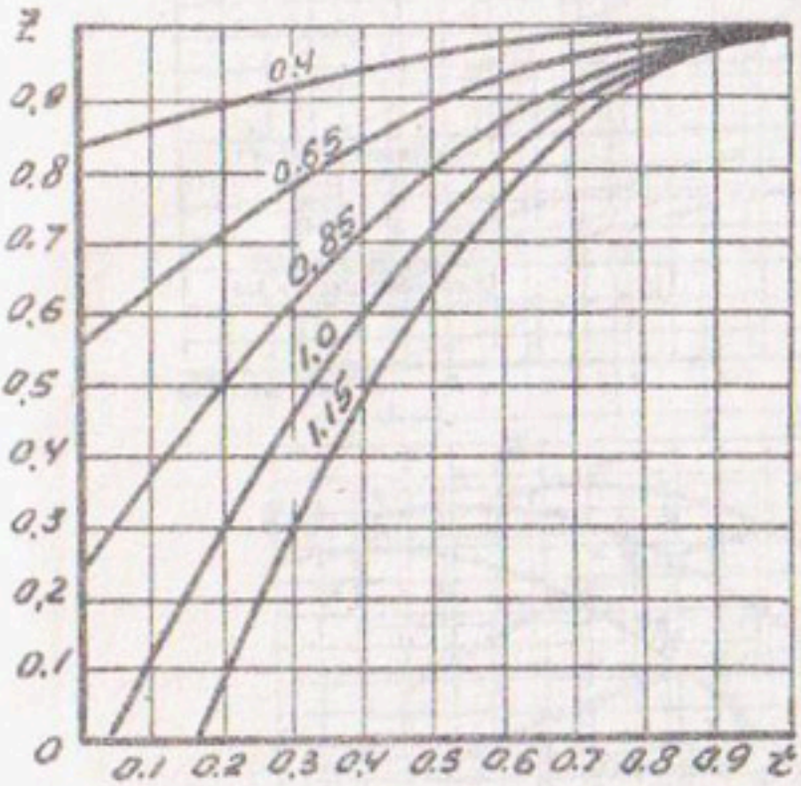


Рис. 4. Графики связей $Z = f(t)$ для хлопчатника при различных значениях K_1

Из имеющейся опытной информации выбраны данные, которые отвечают следующим требованиям.

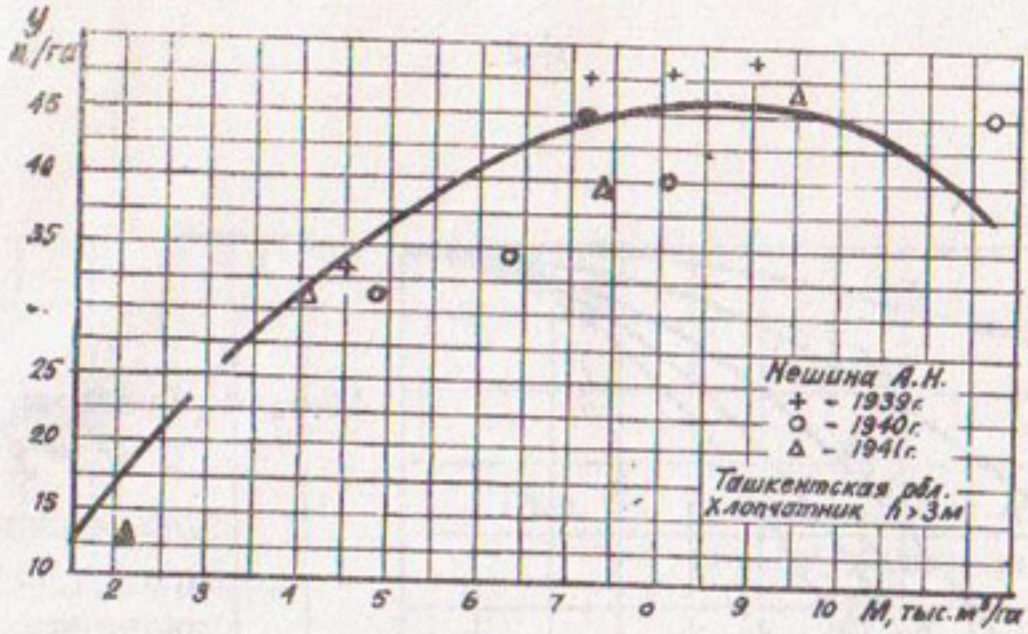
1. Диапазон изменения оросительной нормы сравнительно широк и включает в себя случаи с глубоким ущемлением культур в водопотреблении.

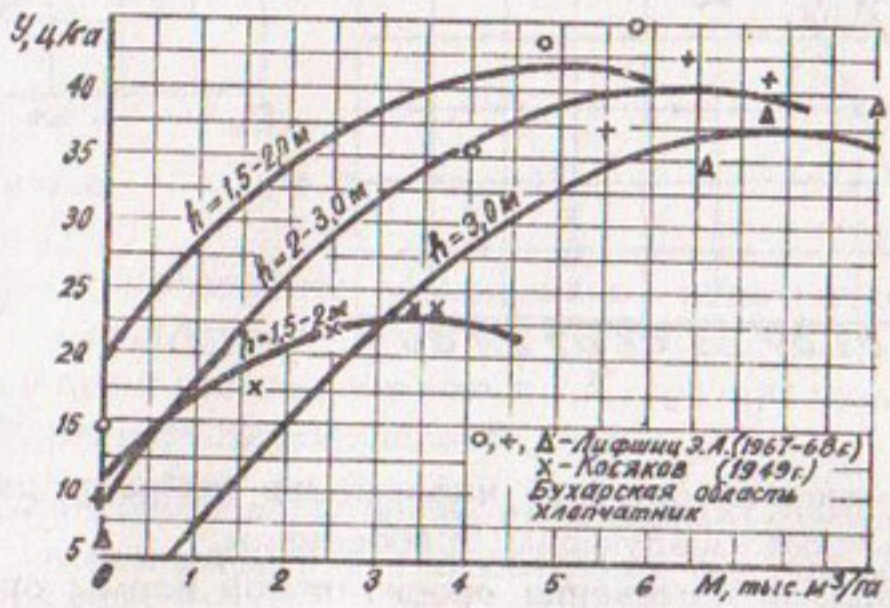
2. На графике с опытными данными визуально наблюдается зона максимума урожайности.

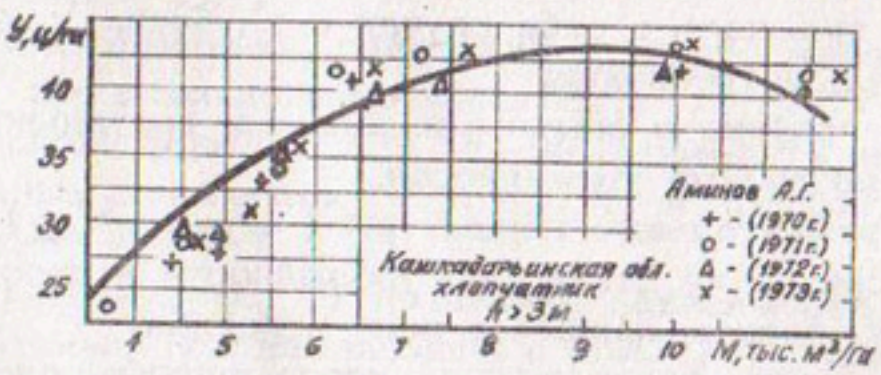
Экспериментальные параметры ($У_{макс.}$, $М_{опт.}$) находятся путем осреднения данных по урожайности и оросительной норме точек, расположенных в зоне перегиба.

Как правило, редки случаи, когда данные одного опыта отвечали этим требованиям. В таких случаях на один график наносились результаты различных опытов, проведенных в одинаковых ГГР и КЗ. Это позволило расширить диапазон изменения оросительных норм и определить зону перегиба. Единственное условие при этом – приблизительно одинаковый уровень урожайности при равных оросительных нормах.

Для яблони и виноградника (рис. 6), в силу ограниченности данных, в качестве $У_{макс.}$ приняты не осредненные







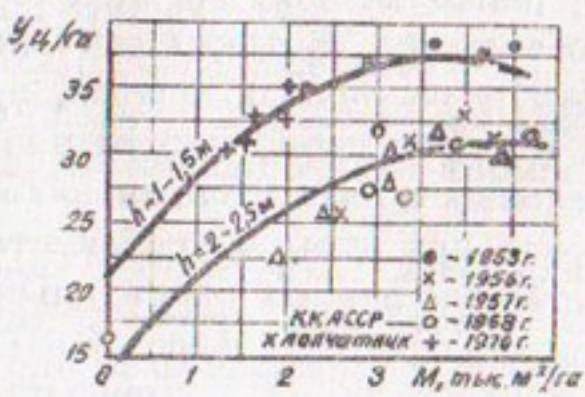
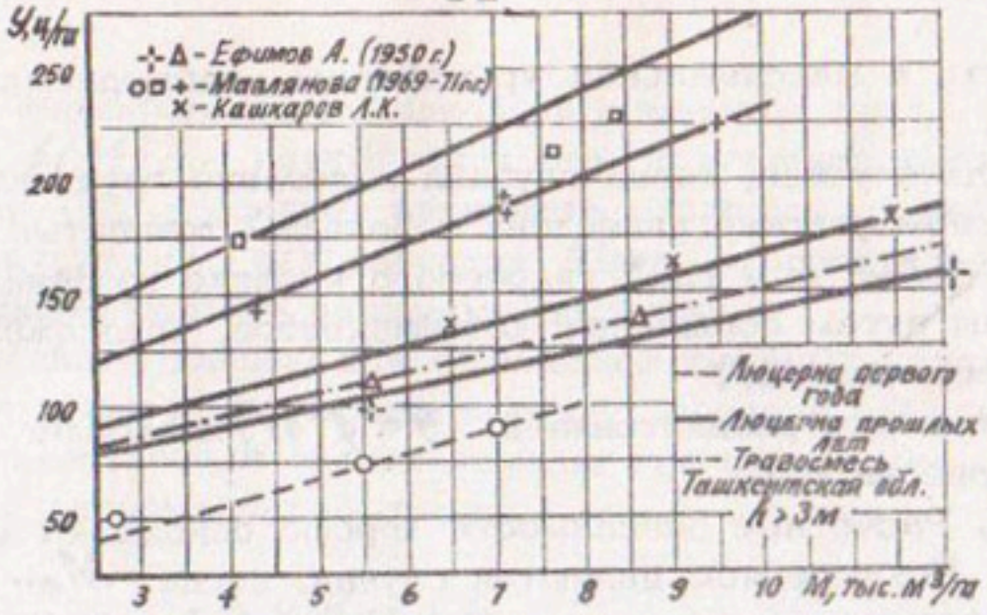
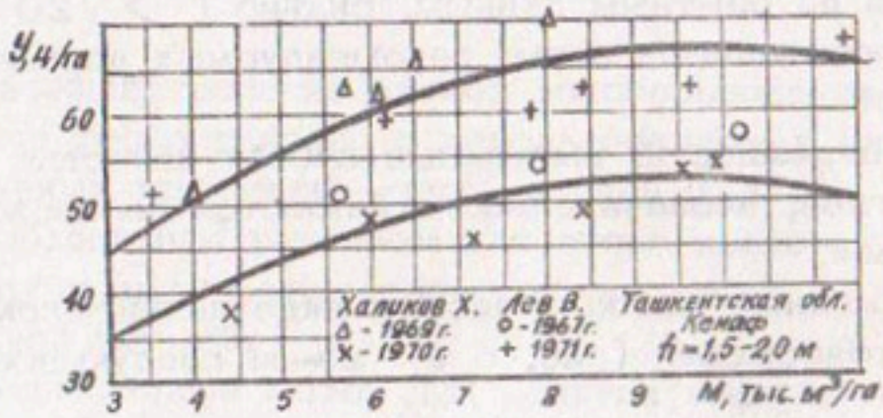
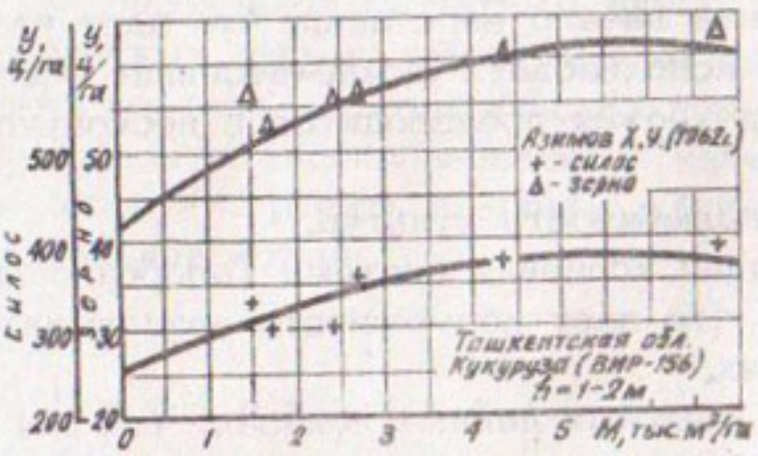


Рис. 5. Графики расчетный связей

$$y = f(M)$$







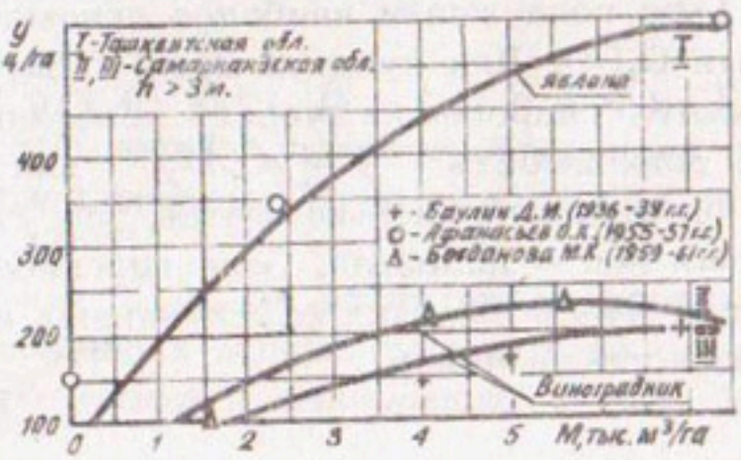


Рис. 6. Графики расчетных связей

$$У = f(М)$$

величины, а максимальная урожайность, наблюдаемая в опыте.

Для случаев, когда глубина залегания грунтовых вод на опытном участке приведена с большой точностью (1–1,5 м, 1,5–2 м и т.д.), гидрогеологические коэффициенты уточнены путем осреднения коэффициентов, предложенных В.Е. Еременко /9/.

Опыт построения связей $y = f(M)$ позволяет сделать следующие выводы.

1. Расчетные зависимости хорошо описывают опытные данные. Исключением являются случаи, когда $M_{опт.}$, определенная по опытным данным, сильно ($>$ 20%) отличается от оросительных норм, рекомендуемых нормативной литературой.

2. Погрешности, вызванные субъективностью выбора зоны перегиба, незначительно отражаются на восходящей части кривой.

Изложенный метод в чистом виде неприемлем для люцерны и травосмесей (рис. 6 а) из-за следующих особенностей.

1. Раннее начало вегетации, что дает возможность максимально использовать зимне-весенние осадки.

2. Сбор урожая производится в несколько этапов (укосов).

3. Влаголюбивость культур.

4. Мощная корневая система (особенно на 2-м и 3-м году жизни), что дает возможность возделывать их и на богарных землях.

Анализ опытных данных показал, что для люцерны и травосмесей 1-го года жизни наиболее приемлем коэффициент K_1, равный 0,90. Для культур 2-го и 3-го года жизни следует принимать гидрогеологический коэффициент K_2 порядком выше. Зависимость $y = f(M)$ для люцерны и травосмесей, предназначенных на фураж, при глубоком залегании грунтовых вод – линейная. Зона перегиба, очевидно, наблюдается при очень высоких оросительных нормах, не имеющих практического значения.

При формировании исходной информации в виде $У = f(М)$ для оптимизации планов водопользования в качестве $У_{макс.}$ следует принимать плановую урожайность по культурам, а в качестве $М_{опт.}$ – оросительные нормы, рекомендуемые режимами орошения.

Урожайные данные для отдельных поливных участков и севооборотных полей можно получить, воспользовавшись картами качественной оценки земель, где приводятся баллы бонитета и экономической оценки.

Выводы

1. Совершенствование планов водопользования и водораспределения тесно связано с использованием в планировании современных математических методов и ЭВМ.

2. Необходимым условием для этого является наличие связей между урожайностью сельскохозяйственных культур и оросительной нормой.

3. Предложенный метод при наличии информации по $У_{макс.}$ и $М_{опт.}$ позволяет расчетным путем построить эти связи для различных сельскохозяйственных культур, гидрогеологических районов и климатических зон.

4. При планировании водопользования в качестве $У_{макс.}$ и $М_{опт.}$ следует принять плановые данные по урожайности и оросительной норме.

Литература

1. Амежанова Р.В., Воропаев Г.В. Влияние ущемлений в водопотреблении на урожайность сахарной свеклы. Труды КазНИИВХ, т. 5, Алма-Ата, 1969.

2. Баграмян Г.А. Об эффективном использовании ограниченных водных ресурсов на орошение. "Гидротехника и мелиорация" № 11, М., 1970.

3. Воропаев Г.В. Резервы ирригации, связанные с оптимизацией использования водных ресурсов. В сб. "Проблемы регулирования и использования водных ресурсов", М., "Наука", 1973.
4. Коваленко Б.Г., Деркинбаев Т.К. О порядке ограничения сельскохозяйственных культур в поливах при дефиците воды. В сб. "Вопросы водного хозяйства", Фрунзе, "Кыргызстан", 1965.
5. Кабаков М.М., Горбачева Р.И. Влияние уровня влагообеспеченности на величину урожая. В сб. "Вопросы водного хозяйства", Фрунзе, "Кыргызстан", 1972.
6. Галямин Е.П. О построении динамической модели формирования урожаев агроценозов. В сб. "Биологические системы в земледелии и лесоводстве", М., "Наука", 1974.
7. Муминов Ф.А. Тепловой баланс и формирование урожая хлопчатника. Труды САРНИГМИ, вып. 50 (65). Ташкент, 1970.
8. Расчетные значения оросительных норм сельскохозяйственных культур в бассейнах рек Сырдарья и Амударья. Ташкент, 1970.
9. Еременко В.Е. Принципы дифференциации режима орошения и техника полива хлопчатника. В сб. "Биологические основы орошаемого земледелия". М., "Наука", 1967.

Х.И. ЗАИРОВ, канд.техн.наук
М.П. САЛЬНИКОВ, канд.техн.наук

САНИИРИ им. В.Д. Журина

СОСТОЯНИЕ И ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Успешное решение задач по дальнейшему обеспечению роста эффективности общественного производства, повышению качества продукции, выдвинутых на XXУ съезде КПСС, зависят, в частности, от совершенствования организации метрологических работ, улучшения метрологического обеспечения производства. В системе Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР с целью решения указанных задач создана ведомственная метрологическая служба /1/. Головная и семь базовых организаций метрологической службы призваны осуществлять комплексные мероприятия, обеспечивающие улучшение работы всех звеньев отрасли. САНИИРИ как одна из базовых организаций осуществляет научно-методическое руководство метрологическим обеспечением Управлений эксплуатации открытых оросительных систем (УЭОС), водохранилищ, крупных насосных станций.

Для определения состояния измерений и основных путей метрологического обеспечения отрасли ряд организаций Минводхоза СССР (ВНПО "Союзводавтоматика", САНИИРИ) совместно с ВНИИМС Госстандарта СССР провели в 1977 г. анализ состояния измерений в Управлениях эксплуатации Терско-Кумского, Донского, Саратовского, Северо-Крымского, Каракумского и Амубухарского каналов (табл. 1). Анализ состояния измерений проводился по специально разработанной ВНИИМС, ВНПО "Союзводавтоматика" и САНИИРИ "Методике анализа состояния измерений в управлениях эксплуатации гидромелиоративных систем и в инспекциях по охране водных источников".

Таблица

Номер п/п	Наименование канала	Территориальное расположение	Максимальный расход в голове канала, $м^3/с$	Годовой водозабор, млн.$м^3$	Протяженность, км	Площадь орошения тыс.га
1	Терско-Кумский	Ставропольский край	100	1,9	148,5	105
2	Северо-Крымский	Херсонская область	300	4,6	400,5	270
3	Каракумский	Чарджоуская, Марийская, Ашхабадская области	400	10,6	967,0	422
4	Амубухарский	Бухарская область	250	3,5	240,0	130
5	Саратовский	Саратовская область				
6	Донской	Ростовская область	250	—	112,2	203

Исследованию подвергались:

состояние оснащения объектов отрасли с применением современных средств измерений, отвечающих требованиям к точности измерения основных параметров;

состояние нормативно-технической документации, регламентирующей правила эксплуатации мелиоративных систем (методические указания, рекомендации, инструкции) с точки зрения правильности отражения в этих документах требований к нормам точности, средствам и методам измерений основных технологических параметров;

обеспеченность ремонтом применяемых на объектах средств измерений;

состояние и организация деятельности ведомственных метрологических служб;

состояние внедрения в отрасли основных положений Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ), регламентируемых государственными стандартами;

состояние метрологического обслуживания средств измерений, находящихся в обращении на объектах, со стороны органов госнадзора Госстандарта СССР в соответствии с требованиями основных положений ГОСТ 8.002-71.

Анализ показал, что основной технологический параметр открытых оросительных систем - расход воды - измеряется на гидрометрических постах(43% случаев), а также различными водомерными сооружениями (табл. 2).

На гидрометрических постах (ГМП) уровни воды измеряются гидрометрическими рейками, скорости течения - гидрометрическими вертушками. Применяются также различные самописцы уровня, перепадомеры (типа ДРС-66, ВПГ-64). Большинство этих средств измерения разработаны различными отраслевыми НИИ и, как правило, выпущены малыми партиями. Они не подвергались ведомственным приемочным испытаниям, не обеспечены поверкой и ремонтом. Поверяются лишь гидрометрические вертушки, но станций для поверки явно недостаточно. Специальные водомерные сооружения в виде водосливов, лотков, порогов, применяемые для измерения расхода воды,

Таблица 2

Номер п/п	Наименование водомерного устройства	Количество, шт.	Средства измерения контролируемого параметра
1	ГМП:		
	всего	217	Рейки, вертушки, ГР-70, лебедки, "Нева", "Луга", датчик уровня
	в том числе:		
	в естественном русле	152	
	в фиксированном русле	65	
2	Водомерные сооружения:		
	а) водосливы (Иванова, Чиполетти)	5	Рейки, уровнемеры
	б) лотки	14	Рейки
	в) пороги САНИИРИ	20	Рейки, уровнемеры
	г) трубчатые регуляторы с водомерными устройствами на выходе	164	ВПГ-64, ДРС-66, рейки
	д) градуированные сооружения:		
	открытого типа	42	Уровнемеры, вертушки
	закрытого типа	21	Рейки, уровнемеры

никогда не аттестовывались, не подвергались ведомственным испытаниям со стороны метрологической службы.

Градуировочные зависимости на ГМП строятся на основании данных измерений, выполненных, как правило, специалистами, не прошедшими метрологическую подготовку. Положение усугубляет-

ся отсутствием нормативно-технической документации, регламентирующей порядок градуировки и поверки ГМП, норм точности измерений основных технологических параметров, что имеет важное значение, так как точность должна быть оптимальной /2/. Излишне завышенная точность средств измерений вызывает их значительное удорожание.

Расход воды на насосных станциях измеряется в основном по паспортной производительности или по потребляемой мощности, а также на ГМП, устроенном на отводящем канале. Из 422 средств, используемых для измерения расхода воды на обследованных объектах, 354 представляли собой измерители электрической мощности, градуированные в единицах расхода. Такой метод измерения расхода воды не учитывает ряда изменяющихся во времени факторов, например, изменения КПД агрегата насосной станции от износа рабочего колеса, работы сифона и др.

Для измерения расхода воды в закрытых водоводах иногда применяются индукционные расходомеры типа 4-РИМ, 5-РИМ, ИР-11, ИР-51. Однако эти расходомеры не обеспечены поверкой и ремонтом.

Обследования показали, что при проведении всех видов измерений используется нормативно-техническая документация, не отвечающая требованиям метрологического обеспечения эксплуатации оросительных систем. Из 42 наименований используемых нормативно-технических документов 27 отраслевых и 15 межотраслевых. Часть из них устарела и не учитывает специфики водохозяйственных организаций.

В большинстве обследованных объектов не созданы метрологические службы, за исключением Управления Амубухарского машинного канала. Отсутствие их приводит к тому, что в Управлениях не проводится систематический анализ состояния метрологического обеспечения выполняемых работ, а также единства и требуемой точности измерений, исполняемых различными службами УЭОС. Не внедряются государственные и отраслевые стандарты; не составляются графики ведомственной поверки средств измерений; не налажены организация ремонта средств измерений в специальных организациях и предприятиях и изъятие из применения непригодных средств измерения и кон-

троля, а также проведение метрологической аттестации нестандартизованных средств измерений.

Указанное положение создает большие трудности в работе УЭОС, ухудшает оперативность и точность водораспределения, снижает эффективность использования водных ресурсов.

Чтобы ликвидировать разрыв между существующим состоянием и современными требованиями эксплуатации ГМС необходимо:

а) организовать государственную поверку средств и методов измерений и их аттестацию;

б) создать централизованную базу по ремонту и поверке гидрометрического оборудования ГМС;

в) разработать нормативно-техническую документацию, регламентирующую требования к средствам и методам измерений основных технологических параметров;

г) разработать и внедрить новые, более совершенные методы и средства измерений расхода воды на открытых оросительных системах и насосных станциях;

д) создать метрологические службы в Управлениях эксплуатации оросительных систем, согласно приказам Минводхоза СССР № 248 от 18.06.76; № 624 от 30.12.76; № 166 от 18.04. 77 г.;

е) обеспечить метрологические службы необходимыми образцовыми средствами измерений;

ж) усилить контроль авторского надзора при строительстве и реконструкции оросительных систем по оснащению их гидрометрическими постами с обязательной их аттестацией;

з) обратить серьезное внимание на необходимость подготовки кадров по метрологическому обслуживанию Управлений эксплуатации оросительных систем.

С целью осуществления указанных задач в лаборатории эксплуатационной гидрометрии и метрологии САНИИРИ в последние годы выполнен ряд работ.

По нормативно-технической документации разработаны:

ОСТ "Методы и средства измерения расхода воды. Измерение потоков воды и наносов в каналах гидромелиоративных систем. Термины, определения, символы";

Инструкция по измерению расхода воды в лотковых каналах одноточечным упрощенным способом САНИИРИ;

Инструкция по расчету и применению водомерного порога с вырезной частью конструкции САНИИРИ;

Рекомендации по применению водомерных устройств на оросительных системах (разработаны совместно с УкрНИИГиМ и ВолжНИИГиМ);

Временные методические указания по градуировке, поверке и аттестации средств измерений расходов воды на каналах методом "скорость – площадь" (разработаны совместно с КТЦ "Метрология и стандартизация" ВНПО "Союзводавтоматика");

Инструкция по устройству и применению водомерного устройства "П-образный насадок" для отводных труб скважин вертикального дренажа;

Рекомендации по выбору средств измерений расхода воды для гидромелиоративных систем (табл. 3).

По средствам измерения технологических параметров разработаны:

для открытой коллекторно-дренажной сети – асимметричное контрольное русло и насадки;

для устьев трубчатых дрен – торцовый водослив /3/;

для гидротехнических сооружений, снабженных водомерными устройствами типа приставок, насадок – электрический датчик расхода воды ДРВ-Э;

для передвижных дождевальных агрегатов – поплавковый регулятор "Горизонт".

Результаты анализа состояния измерений явились основой для составления плана метрологического обеспечения мелиорации и водного хозяйства. Упомянутые разработки САНИИРИ – реализация небольшой ее части.

Усилия САНИИРИ и других базовых организаций метрологической службы должны быть направлены на выполнение всей программы метрологического обеспечения отрасли.

Таблица 3

Рекомендации САНИИРИ по выбору средств

Номер п/п	Условия \ Расход воды, м³/с	Характеристика воды	0,005÷0,05	0,05÷0,5
1	Только для свободного истечения из водомерного сооружения (уклоны большие и средние)	а	ВТ	ВЧ
		б	ВН	ВН
		в	ВЛ	ВЛ
П	Только для затопленного истечения из водомерного сооружения (уклоны малые)	а	ВН	ВН
		б	ВН	ВН
		в	ВЛ	ВЛ
Ш	Для затопленного истечения при переменном подпоре (уклоны малые и О)	а	ВН	ВН
		б	ВН	ВН
		в	ВН	ВН

Примечание:

а – вода из водохранилищ;
б – вода, содержащая взвешенные наносы;
в – вода, содержащая плавник, взвешенные и донные наносы;

ВТ – водослив Томсона;
ВЧ – водослив Чиполетти;
ВЛ – водомерный лоток Паршалла Вентури;
ВН – водомерный насадок;

Продолжение

измерений расхода воды для ГМС

0,5÷0,3 / 3,0÷10,0	10,0÷50,0	>50,0
ВПС, ВП	ВПС, ВП	ВПС, ВК, КР	КР, ГМП
ВПС, ВП	ВПС, ВП	ВПС, ВК, КР	КР, ГМП
ВПС, ВП	ВПС, ВП	ВПС, ВК, КР	КР, ГМП
ВПС, ВП	ВПС, ВП	ВПС, КР	КР, ГМП
ВПС, ВП	ВПС, ВП	ВПС, КР	КР, ГМП
ВПС, ВП	ВПС, ВП	ВПС, КР	КР, ГМП
ВП, ВНТ	ВП	КР – О/Т	КР – О/Т
ВП, ВНТ	ВП	КР – О/Т	КР – О/Т
ВП, ВНТ	ВП	КР – О/Т	КР – О/Т

ВП – водомерная приставка;
ВК – водослив Крампа;
ВПС – водомерный порог САНИИРИ;
ВНТ – водомерный насадок к трубчатому регулятору;
КР – контрольное русло;
КР – О/Т – контрольное русло с одноточечным измерением скорости;
ГМП – гидрометрический пост.

Литература

1. Водяницкая М.А. Метрологическая служба в системе Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР. "Измерительная техника", № 8, М., 1978.
2. Бойцов В.В. Роль метрологии в решении народнохозяйственных задач. "Измерительная техника" № 8, М., 1978.
3. Бутырин М.В., Заиров Х.И., Старковская В.Е. Водомерные сооружения и устройства для коллекторно-дренажной сети, Сб. научных трудов САНИИРИ, вып. 153, Ташкент, 1977.

М.Ю. БОРУХОВ, канд.техн.наук
А.Н. СПЕСИВЦЕВ, инженер
И.Ш. ФРАЙД, инженер

САНИИРИ им. В.Д. Журина

ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В УСЛОВИЯХ "АСУБ - СЫРДАРЬЯ"

САНИИРИ разработаны первоочередные задачи подсистемы оперативного управления водораспределением, которые вошли составной частью в технический проект "АСУБ - Сырдарья" (1 очередь), одобренный коллегией Минводхоза СССР в декабре 1977 г.

Подсистема состоит из пяти взаимосвязанных задач, схема функционирования которых представлена на рис. 1. Основная цель подсистемы - минимизация отклонений фактических режимов водоподачи от соответствующих режимов, преду-

смотренных оперативным планом:

$$\Delta W_{\mathcal{D}} = \sum_{j=1}^{N} \sum_{T=1}^{\mathcal{D}} \Delta W_{jT} \to 0$$

$$\Delta W_{T} = \sum_{j=1}^{N} \sum_{i=1}^{M} \Delta W_{ji} \to 0,$$

где $\Delta W_{\mathcal{D}}$ – отклонения фактического стока от планового по всем N водовыделам объекта за декаду $\mathcal{D}$;

ΔW_{T} – то же, за сутки T ;

j – код контрольного створа;

i – номер контрольного замера фактического режима в течение суток;

M – число замеров в течение суток.

Для достижения цели подсистема обеспечивается двумя информационными входами: сверху из подсистемы планирования в нее поступает оперативный план, задающий оптимальные режимы функционирования объекта в контрольных створах на предстоящую декаду, и снизу от эксплуатационных служб объекта управления в нее регулярно собираются сведения о реальном поведении объекта в тех же створах.

План задается в виде планов-графиков следующих видов:

$$Q_{\mathcal{D}} = f_1(T_K); \qquad (1)$$

$$W_{\mathcal{D}} = f_2(T_K); \qquad (2)$$

$$V_{\mathcal{D}} = f_3(T_K); \qquad (3)$$

где $Q_{\mathcal{D}}$ – расход воды к контрольных створах (в течение декады), м^3/с;

$W_{\mathcal{D}}$ – контрольные значения стока воды в тех же створах (за декаду) , км^3;

$V_{\mathcal{D}}$ – объем запасов водохранилищ (за декаду), км^3;

T_K – порядковый номер суток в декаде.

Регулярные сведения о реальном поведении объекта управления поступают в виде дискретных значений уровней воды H_ϕ в водохранилищах и уровней воды h_ϕ в контрольных створах, выраженных в единицах глубины (м). В связи с ограниченными возможностями современной техники оперативного производства замеров, а также для простоты эксплуатации этими же единицами оперирует персонал объектов при управлении протекающими процессами.

Несоответствие параметров планируемого режима параметрам оперативного контроля и управления привело к необходимости их идентификации в подсистеме, что реализуется в задаче 1 (см. рис. 1). На вход задачи поступает оперативный план в виде планов-графиков (1) и (3) для контрольных створов.

В результате преобразований вида

$$Q_\Sigma \Rightarrow h(T),$$
$$V_\Sigma \Rightarrow H(T)$$

исходная информация трансформируется в задаче в планы-графики, регламентирующие уровенный режим поведения объекта в соответствующих контрольных створах на планируемый период с его посуточной дискретизацией.

Кроме того, с помощью преобразования

$$Q_\Sigma \Rightarrow n_{kj} \cdot (\tau),$$

где n – число агрегатов;
k – код агрегата;
j – код насосной станции;
τ – почасовые отметки времени на декадном интервале. В задаче на декаду вырабатывается полагрегатный режим работы насосных станций, питающихся водными ресурсами объекта, и в качестве управляющих команд передается эксплуатационному персоналу насосных станций.

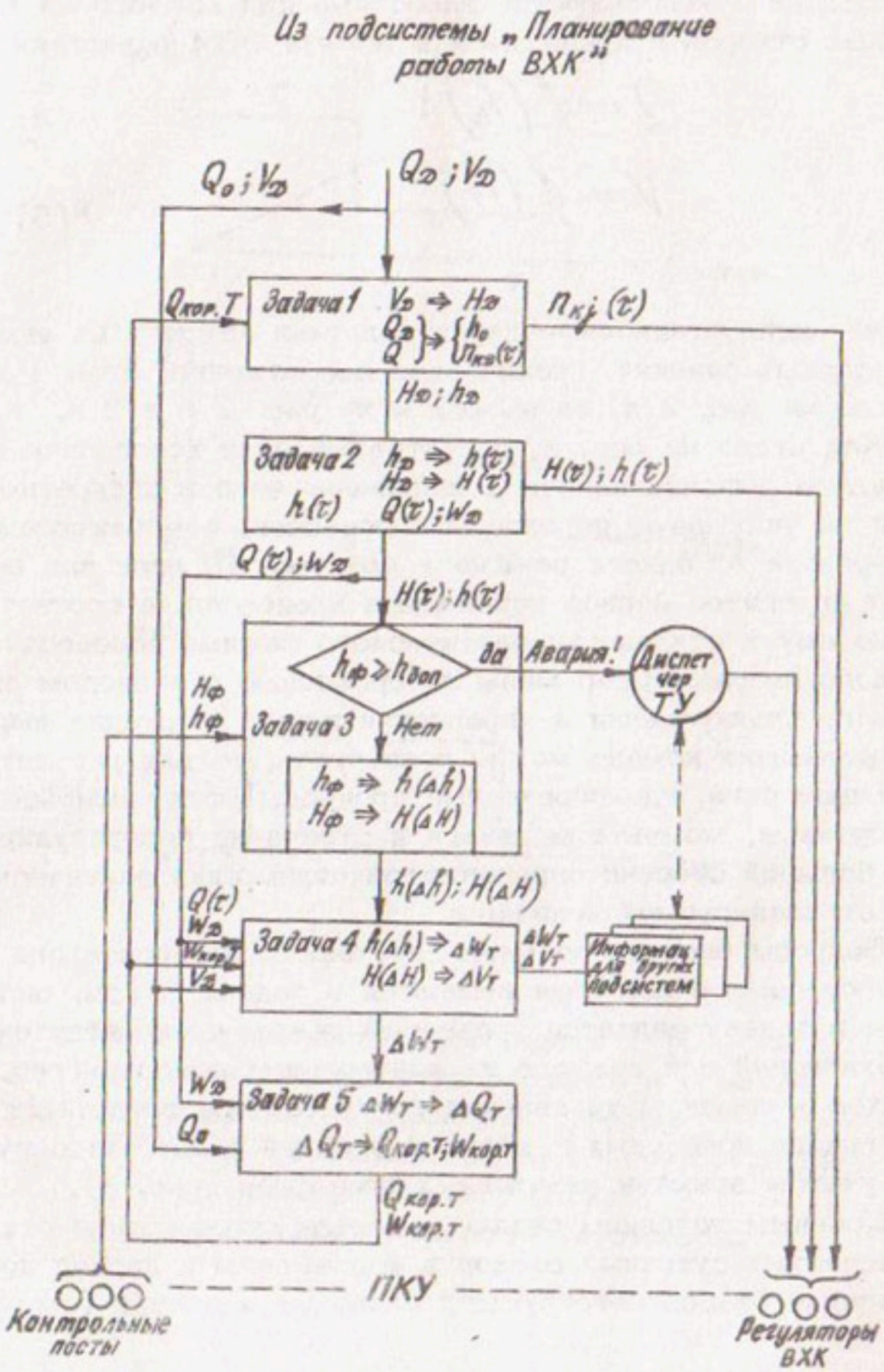


Рис. 1. Схема функционирования подсистемы оперативного управления водораспределением.

В задаче используются известные для каждого из контрольных створов и хранящиеся в памяти ЭВМ зависимости

$$Q = f(h); \qquad (4)$$

$$V = f(H), \qquad (5)$$

а также эксплуатационные характеристики каждого из агрегатов насосных станций. Графическое изображение входа 1 представлено на рис. 2 а, ее выхода – на рис. 2 б и 2 в.

Как видно из рис. 2, оперативный план водоподачи и результаты решения задачи 1 выражены явно в дискретном виде и не учитывают переходных процессов, отмечающихся при переходе от одного режима к другому. И, если для насосных агрегатов период переходных процессов, а соответственно ему и отклонения фактического режима водоподачи от заданного несоизмеримо малы по сравнению с периодом оперативного планирования и управления и ими на стадии выработки управляющих команд можно пренебречь, то для регуляторов самотечной сети, где переходные процессы могут длиться часами и сутками, моментами начала и окончания перерегулирования в большой степени определяются отклонения фактического стока от планируемой величины.

Вопросы расчета времени переходных процессов для регуляторов самотечной сети решаются в задаче 2 (см. рис. 1). Входом в задачу является уровневый режим с его посуточной дискретизацией для каждого из контрольных створов (рис. 2 б). Ее выход – команды управления регуляторами, представляющие собой график почасовых изменений уровней в бьефах сооружений с учетом времени переходных процессов (рис. 3).

Краевым условием задачи является минимизация отклонений расчетных суточных стоков в водовыделы в период перерегулирования от соответствующих плановых значений (см.рис.2

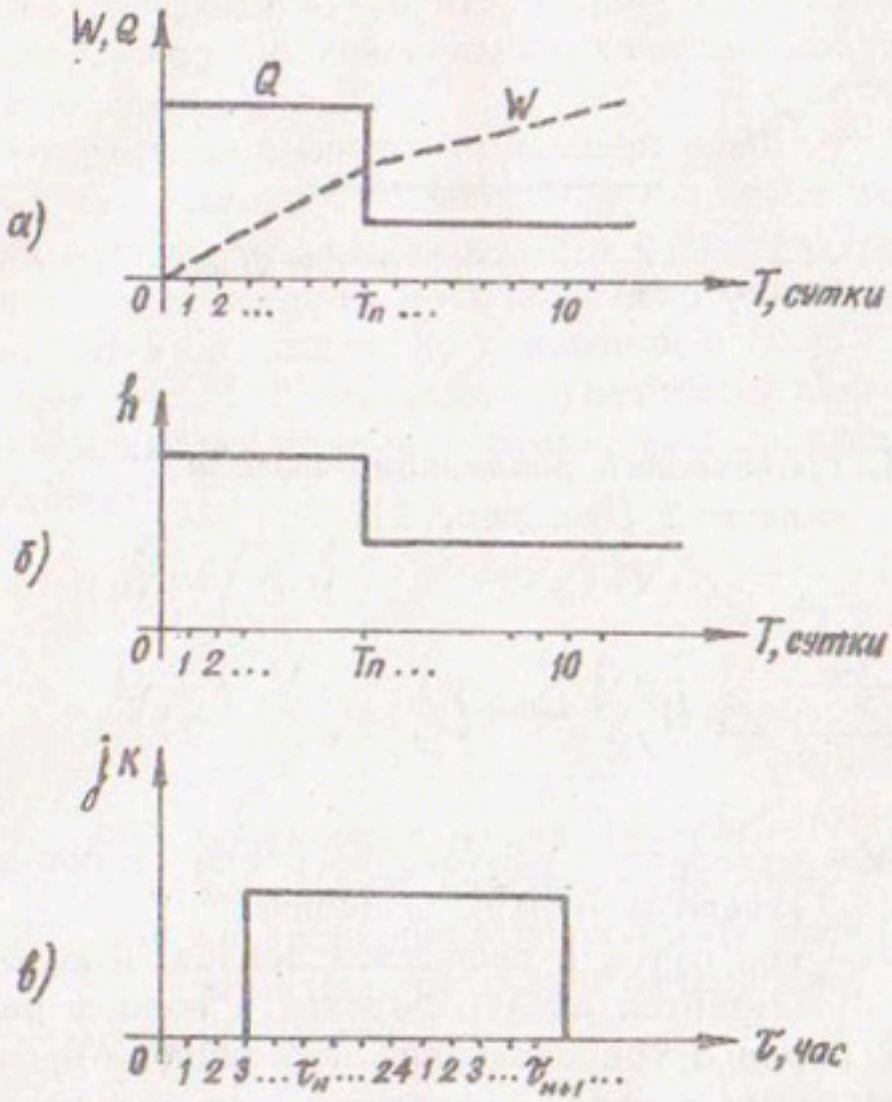


Рис. 2. Графическая реализация задачи 1 (см. рис. 1):
а – плановые значения расходов и объемов воды для управляемых створов;
б – значения уровней воды, соответствующие исходным расходам и стокам;
в – режим работы насосных агрегатов.

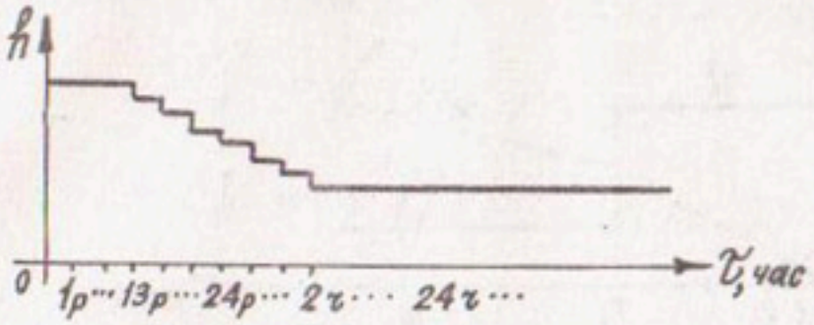


Рис. 3. Графическая реализация выхода задачи 2 (см. рис. 1).

$$\sum_{T_K=P}^{\tau_n} \Delta W_{TK} \to 0,$$

где ΔW – отклонение расчетного стока от соответствующего планового значения;

P – код суток в расчетной декаде, в которой намечается начать переход к новому режиму;

τ_n – код суток окончания переходного процесса.

Ограничениями к задаче являются конструктивно-технологические особенности каждого из регуляторов самотечной сети. Для каждого сооружения, в соответствии с его паспортом, регламентируются режимы переходных процессов. Эта информация заносится и постоянно хранится в памяти ЭВМ.

Контроль за выполнением команд управления ведется с помощью задачи 3 (см. рис. 1). Сравнением регулярно поступающих из контрольных створов объекта сведений о фактических значениях уровня воды с соответствующими допустимыми значениями в задаче выявляются предаварийные ситуации, а сравнение тех же сведений с соответствующими расчетными значениями приводит к выявлению отклонений фактического режима от расчетного по контрольным створам на момент производства замеров.

Сигнал о предаварийной обстановке передается диспетчеру соответствующего территориального управления, а выявленные отклонения по контрольным створам посуточно накапливаются и суммируются.

В результате последней операции выявляются створы, в которых отмечались отклонения за истекшие сутки, и величина этих отклонений, выраженная в единицах уровня. Для оценки поведения объекта за истекшие сутки эти сведения поступают на вход задачи 4, в которой с помощью преобразований видов (4), (5) выявляются суточные отклонения по створам в единицах объема и стока, т.е. производятся следующие операции:

$$h=(\Delta h)_{ji} \Rightarrow \Delta W_{jT_K}$$

$$H(\Delta H)_{ji} \Rightarrow \Delta V_{jT_K},$$

где $i=1,\dots m$ – порядковый номер замера;

m – количество суточных замеров;

j – код контрольного поста (створа), в котором выявлены суточные отклонения;

T_K – код суток.

В задаче 4 используются в качестве входной информации, кроме результатов решения предыдущей задачи, также данные о расчетных и плановых режимах, поступающие соответственно из задачи 2 и от подсистемы планирования.

Сведения о значениях ΔW_{jT_K} и V_{iT_K} передаются в виде документов диспетчеру территориального управления, а в виде информационных массивов заносятся в память ЭВМ для использования смежными подсистемами. Значения ΔW_{jT_K} используются для корректировки режимов функционирования объектов. Собственно расчет корректирующих воздействий производится в задачах 5, 1 и 2.

В задаче 5 определяется оптимальный период корректирующих воздействий в течение T_{K+1} -ых суток и величина коррекции ΔQ_j за этот период, на основании которых формируется для каждого j -того створа объекта откорректированный план на сутки T_{K+1} :

$$\Delta W_{jT_K} \Rightarrow \Delta Q_{j\tau_{K+1}} \Rightarrow Q^{кор}_{jT_{K+1}}(t),$$

где τ_{K+1} - оптимальный период корректирующих воздействий в j -том створе в течение T_{K+1} -ых суток.

На вход задачи, кроме значений ΔW поступают плановые значения

$$Q_{jT_{K+1}}(t) \quad и \quad W_{jT_{K+1}}.$$

В задаче используются данные о пропускной способности гидросооружений, их взаимном расположении, приоритетности, порогах чувствительности регуляторов и другие. В качестве промежуточных операций проводятся балансовые и другие расчеты для определения и исследования резервов корректировки режимов водораспределения.

Результаты решения задачи 5 поступают на вход задачи 1, где с их учетом корректируется план на T_{K+1} -ые сутки в значениях уровня воды. Таким образом, замыкается цикл функционирования подсистемы, ведущий к достижению цели на декадном интервале времени.

Периодичность решения задач 1, 2, 4, 5 определяется и осуществляется в соответствии с поведением объектов. Так, при отсутствии отклонений в реальном режиме его функционирования, задачи 1 и 2 решаются 1 раз на предстоящую декаду, а задачи 4 и 5 вообще не решаются. При наличии на объектах отклонений от плановых режимов водоподачи задачи 1, 2, 4, 5 решаются 1 раз в сутки. Периодичность решения задачи 3 совпадает с периодичностью производства замеров, установленной для створов с наименьшей инерционностью протекающих

процессов. В большинстве створов рассматриваемого объекта такие замеры производятся ежечасно.

Для каждой из перечисленных задач на уровне технического проектирования разработаны алгоритмы решения и формы документов и массивов входной, выходной, хранимой для связи с другими задачами и нормативно-справочной информации.

Ю.И. БОБРОВ, инженер
М.Г. КОЛЕСНИКОВА, инженер
Е.Я. СОТНИК, инженер

САНИИРИ им. В.Д. Журина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗВЕНЬЯХ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НА АВМ СТРУКТУРНЫМ МЕТОДОМ

При исследовании и разработке технически совершенных автоматизированных оросительных систем (ОС) возникает необходимость расчета переходных процессов на ОС.

Как известно, неустановившееся движение воды в открытых руслах ОС описывается уравнениями Сен-Венана, которые не имеют прямого аналитического решения. Один из методов приближенного решения указанных уравнений предложен Э.Э.Маковским /1/. После ряда преобразований им было получено операторное уравнение (1), описывающее динамику движения воды в открытых руслах ОС.

Настоящая работа посвящена применению методики структурного моделирования сложных динамических систем на АВМ для решения этого операторного уравнения.

В отличие от методов моделирования на АВМ по математическому описанию всей системы в целом, применявшихся

для решения этих уравнений /2, 3/, при структурном моделировании /4/ составляется схема моделирования, по виду совпадающая со структурой исследуемой системы. Использование этой методики значительно упрощает процессы подготовки и контроля модели, позволяет наблюдать и регистрировать не только выходные сигналы системы, но и процессы изменения выходных величин каждого динамического звена, обеспечивает непосредственную связь между коэффициентами решающих блоков АВМ и параметрами динамических звеньев. Последнее в значительной мере облегчает исследование влияния этих параметров на поведение системы.

В общем случае при нулевых начальных условиях изменение уровня в любом створе на участке канала 1–П (рис. 1) с учетом влияния изменения глубин на смежных участках канала 0; 0–1; 2 описывается операторным уравнением /1, 2/.

$$\mathcal{Z}\left\{1-W_2(P)\cdot W_3(P)\exp\left[-(\tau'_{10}+\tau'_{20})P\right]=\left\{W_1(P)\cdot W_3(P)\times\right.\right.$$
$$\times\frac{\gamma_1}{x_2}\cdot\exp\left[-(\tau'_{10}+\tau'_2)P\right]-W_1(P)\frac{\gamma_1}{x_2}\exp(-\tau'_1P)\Big\}\times \quad (1)$$
$$\times\left(N_H\cdot A_H+R_H\mathcal{Z}_{K2}\right)+\left\{W_4(P)\cdot W_2(P)\frac{\gamma_2}{x_1}\exp\left[-(\tau'_{20}+\tau'_1)P\right]-\right.$$
$$\left.-W_4(P)\cdot\frac{\gamma_2}{x_1}\exp(-\tau'_2P)\right\}\cdot\left(N_K\cdot A_K+N_{01}\cdot A_{01}+\right.$$
$$\left.+R_K\cdot\mathcal{Z}_0+R_{01}\cdot\mathcal{Z}_{01}\right),$$

где $\mathcal{Z}\div\!\!\rightarrow \zeta=\frac{\Delta h}{h}$; $\mathcal{Z}_i\div\!\!\rightarrow \zeta=\frac{\Delta h_i}{h_i}$;

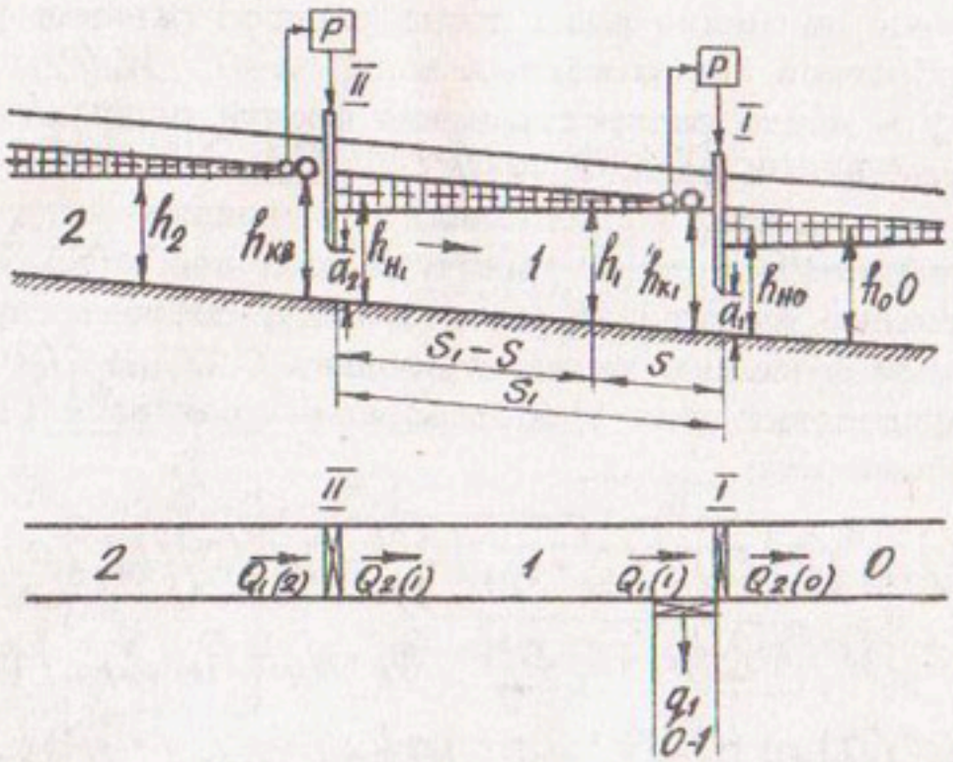


Рис. 1. Схема звена каскада при регулировании по верхнему бьефу.

$$A_i \div \alpha_i = \frac{\Delta Q_i}{a}; \quad W_i(P) = \frac{\mathcal{Z}_i P + k_i}{T_i P + 1}$$

$$(i = 1, 2, 3, 4); \qquad P = \frac{d}{dt}$$

$\mathcal{Z}$ – изображение отклонения глубины в любом створе канала;

$\mathcal{Z}_i$ – изображение отклонения глубины со стороны примыкающих бьефов;

A_i – изображение отклонения открытия затвора;

τ_i – время запаздывания.

Формулы для расчета коэффициентов ($\mathcal{Z}_i$; k_i; T_i; γ_i; x_i) приведены в /1, 2, 3/.

Передаточные функции $W_1(P)$ и $W_4(P)$ характеризуют неустановившееся движение воды после распространения фронта прямой и обратной неотраженных волн, $W_2(P)\cdot W_4(P)$ и $W_1(P)\cdot W_3(P)$ – после распространения фронта первых прямой и обратной отраженных волн, а $W_2(P)\cdot W_3(P)$ – после распространения фронта всех последующих отраженных волн.

Для использования структурного метода необходимо привести передаточные функции $W_i(P)$ к виду, соответствующему передаточным функциям типовых звеньев САУ, $W_i^*(P)$.

После приведения этих преобразований уравнение (1) принимает следующий вид:

$$\mathcal{Z}\left\{1-W_2^*(P)W_3^*(P)\exp\left[-(\tau'_{10}+\tau'_{20})P\right]\right\}=W_1^*(P)\left\{W_3^*(P)\cdot\exp\left[-(\tau'_{10}+\tau'_2)P\right]-\exp(-\tau'_1P)\right\}\cdot(N_H\cdot A_H+R_H\cdot\mathcal{Z}_{K2})+$$
$$+W_4^*(P)\left\{W_2^*(P)\exp\left[-(\tau'_{20}+\tau'_1)P\right]-\exp(-\tau'_2P)\right\}\cdot$$
$$\cdot\left(N_K A_K+N_{01}\cdot A_{01}+R_K\cdot\mathcal{Z}_0+R_{01}\cdot\mathcal{Z}_{01}\right),$$

$$W_i^*(P)=K_i^*\cdot\frac{T_i^*P+1}{T_iP+1};\quad K_1^*=\frac{K_1\cdot\gamma_1}{x_2};\quad (2)$$
$$K_2^*=K_2;\quad K_3^*=K_3;\quad K_4^*=\frac{K_4\cdot\gamma_2}{x_1};$$
$$T_i^*=\frac{\mathcal{L}_i}{K_i};\ (i=1,2,3,4)$$

Структурная схема, соответствующая уравнению (2), показана на рис. 2. Модель этой системы на АВМ получается в результате соединения моделей всех $W_i^*(P)$ /5/ и блоков, моделирующих постоянное запаздывание τ_i в соответствии со структурной схемой.

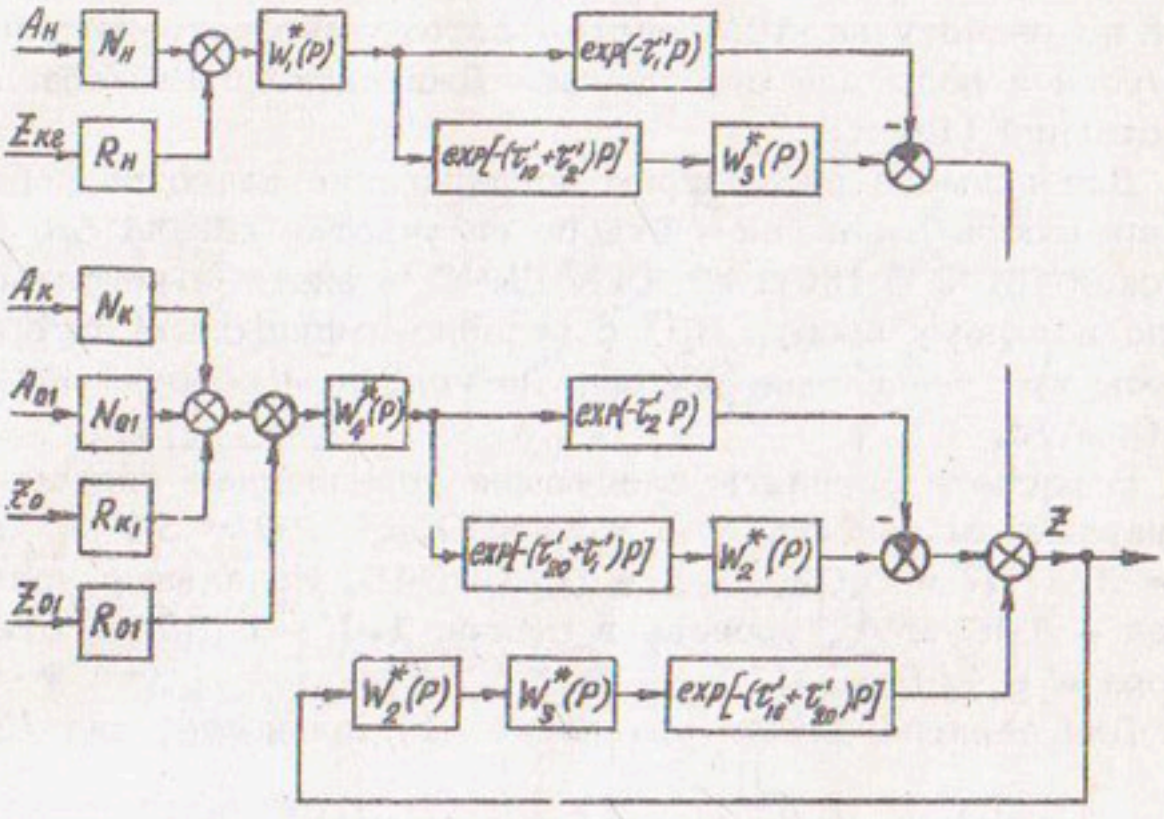


Рис. 2. Структурная схема объекта управления.

В зависимости от сочетания исходных данных возможно получение четырех разновидностей передаточных функций, отличающихся моделями на АВМ.

При расчете переходных процессов на участках канала с насосными станциями производные $\frac{\partial Q}{\partial h_к}$ и $\frac{\partial Q}{\partial h_н}$ принимаются равными нулю, что вызывает изменение вида $W_i^*(P)$, модели на АВМ и алгоритма расчета ее коэффициентов /3/.

Для ускорения процесса подготовки моделей была составлена программа на языке "Алгол-60" для вычисления на ЦВМ непосредственно коэффициентов уравнения (2).

В некоторых случаях отдельные передаточные функции, не оказывающие существенного влияния на переходный процесс, опускаются в расчетах, что упрощает уравнения (1, 2) и схему модели.

С использованием методики структурного моделирования в лаборатории электрической автоматики и телемеханики САНИИРИ был проведен комплекс научно-исследовательских работ по расчету на АВМ систем автоматического регулирования уровней воды для строящегося Джизакского каскада насосных станций (ДКНС).

Для примера рассмотрим исследование качества переходных процессов в конечном створе на участке канала без водовыпусков ПК 0 ÷ ПК 145 ЮГК ДКНС в системе регулирования по верхнему бьефу (ВБ) с релейно-импульсным авторегулятором при увеличении расхода на головном сооружении ЮГК на 30 м^3/с.

В расчетах приняты следующие усредненные гидравлические параметры канала: $S_1 = 14500$ м, $b = 54$ м, $S = 0$, $m = 3$, $n = 0{,}02$, $i = 0{,}000045$. Начальные условия: расход – 196 м^3/с, уровень в створе 1-1 – 6,85 м, открытие затвора – 0,725 м.

Для данного случая уравнение (1) принимает вид /3/

$$Z_{K_1} = W_1(P)\cdot\frac{V_1}{x_2}\left[W_3(P)-1\right]\exp(-\tau_{10}'P)\cdot N_{H_1}\cdot A_{H_1} - W_4(P)\cdot\frac{y_2}{x_1}N_{K_1}A_{K_1} \qquad (3)$$

После подстановки численных значений и приведения к виду (2) это уравнение запишется следующим образом:

$$Z_{K_1} = \frac{-0{,}5451\,(1+816{,}96\,p)}{(1+98051{,}5p)}\cdot\left[\frac{-0{,}2134\,(1+417526{,}24p)}{(1+99833{,}07p)}-1\right] \qquad (4)$$

$$\cdot\exp(-1898{,}25p)N_{H_1}\cdot A_{H_1} - \frac{0{,}663(1+5883{,}79p)}{(1+94253{,}9p)}\cdot 0{,}623\,A_{K_1}$$

Схема набора на АВМ модели замкнутой системы регулирования для этого расчетного примера показана на рис. 3. Моделирование проводилось в ускоренном масштабе времени ($m_t = \frac{1}{450}$).

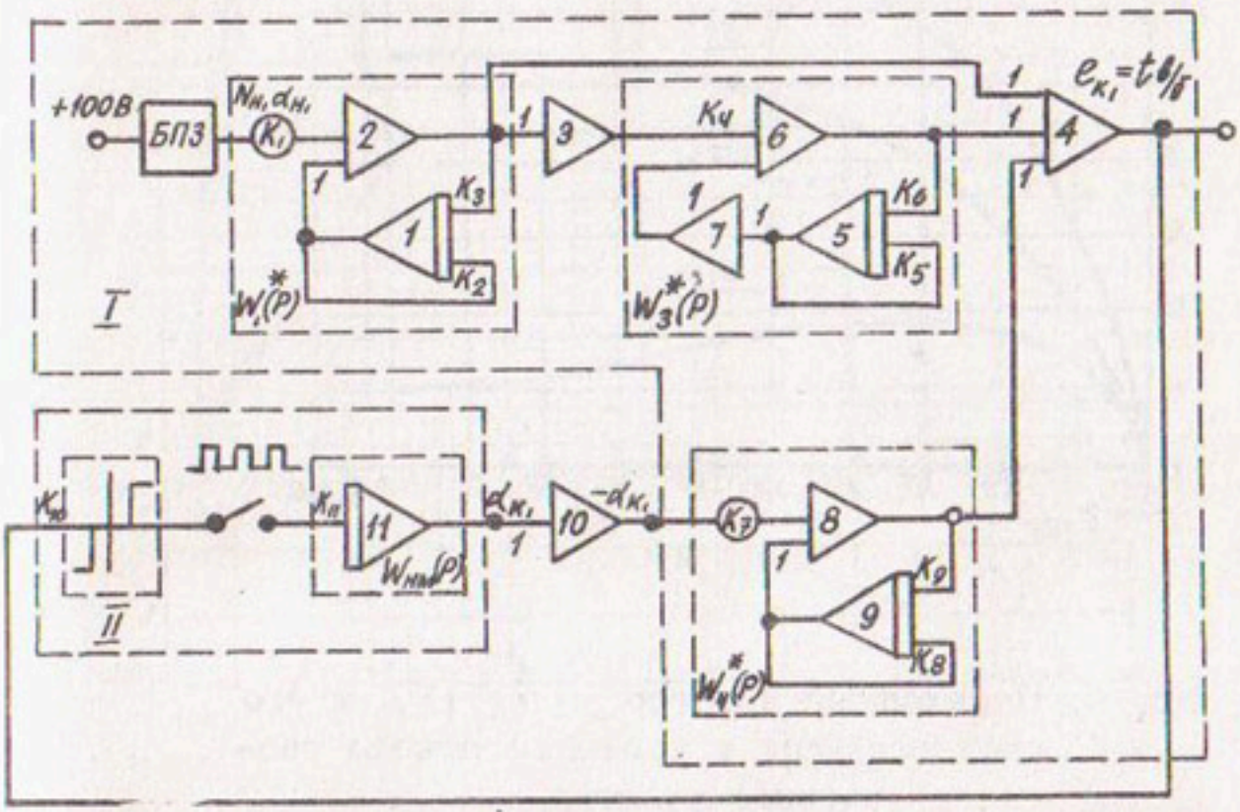


Рис. 3. Структурная схема модели САУ расчетного участка: 1 – модель объекта; П – модель авторегулятора.

На рис. 4 изображены кривая 3 переходного процесса изменения уровня в створе 1–1 в разомкнутой системе и ее составляющие при изменении расхода на головном сооружении на 30 м³/с. При этом кривая 1 определяется прямой неотраженной волной $W_1^*(P)$, а кривая 2 – обратной отраженной волной

$$W_1(P) \cdot W_3(P)$$

Для определения настройки релейно-импульсного регулятора, обеспечивающего необходимое качество переходных процессов, был проведен ряд расчетов на АВМ при различных значениях настроечных параметров.

Н

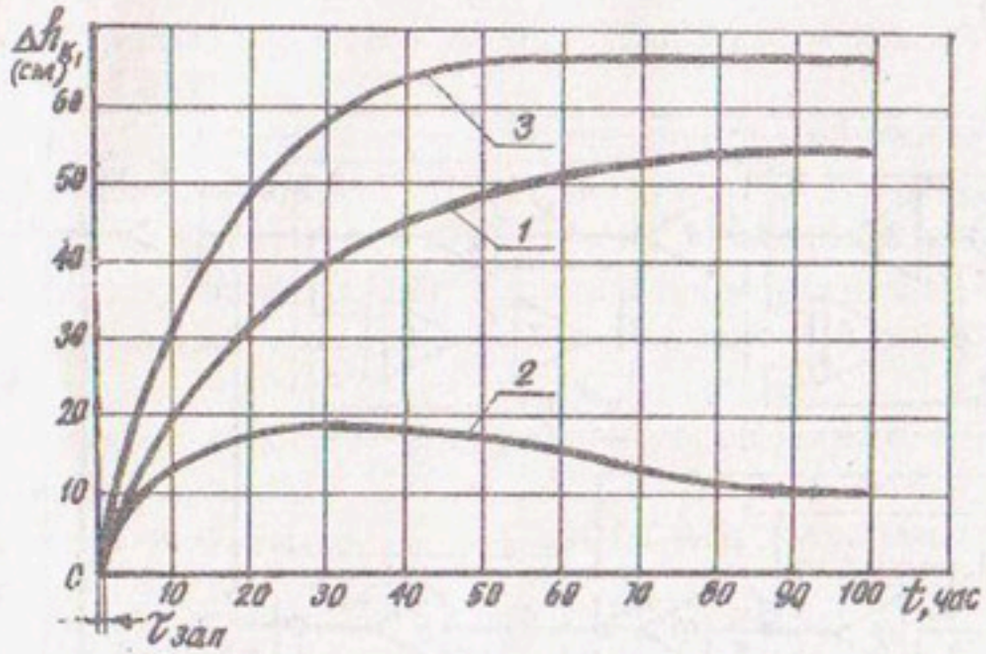


Рис. 4. Переходный процесс $\Delta h_{K_1}(t)$ и его составляющие в конечном створе расчетного участка.

На рис. 5 приведен переходный процесс в замкнутой САУ уровня ВБ со следующими параметрами настройки регулятора, обеспечивающими необходимое качество регулирования: время цикла – 15 мин, время импульса (время движения затвора) – 1,5 мин, время паузы – 13,5 мин, скорость движения одного затвора шириной 4 м – 0,17 м/мин, зона нечувствительности регулятора – $\pm$ 1 см.

Кривая 1 соответствует изменению уровня в створе 1–1, а кривая 2 – изменению положения затвора перегораживающего сооружения.

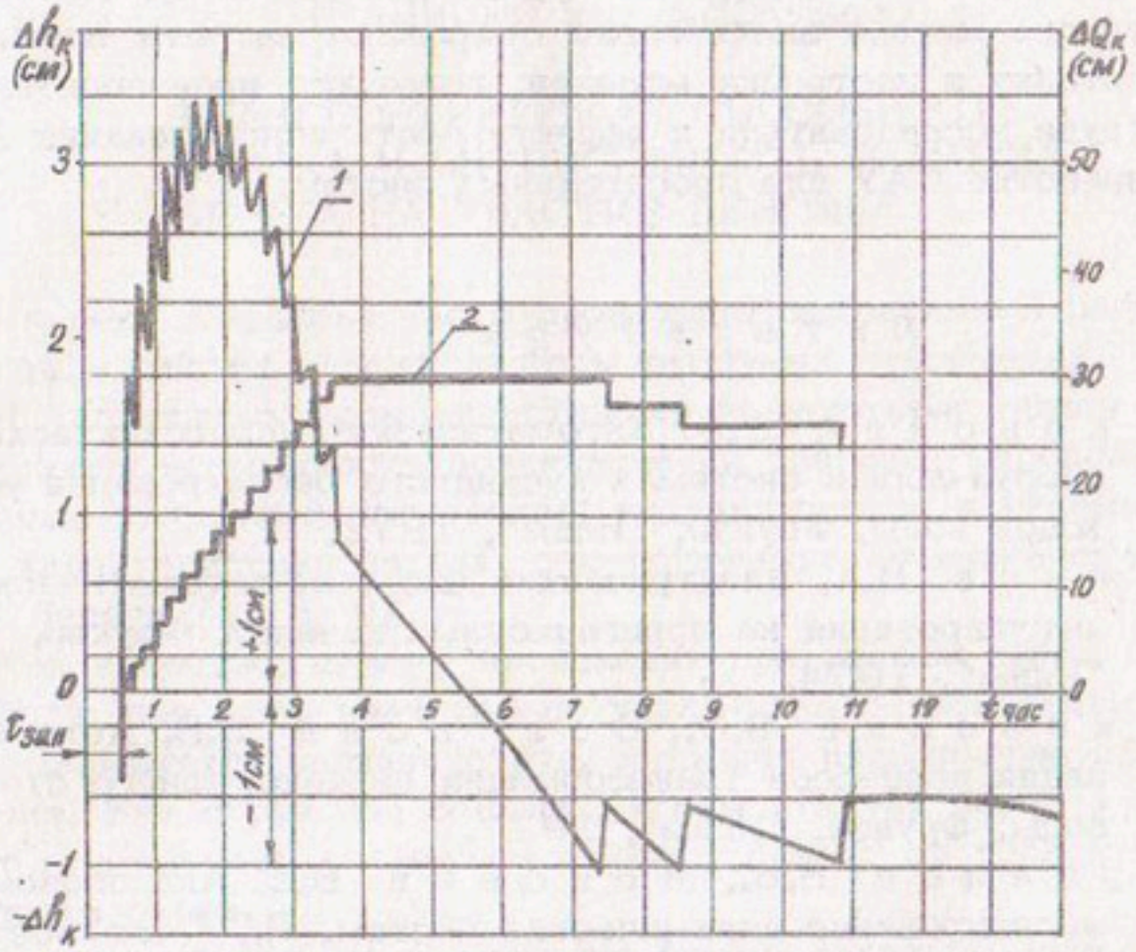


Рис. 5. Переходные процессы в конечном створе расчетного участка в системе регулирования по ВБ с электрическим релейно-импульсным авторегулятором.

В ы в о д ы

1. Применение структурного метода позволяет решать операторное уравнение динамики движения воды в открытых каналах (1) в полной форме без существенного усложнения структуры модели.

2. Построение модели из отдельных типовых структурных элементов с явно выраженными входами и выходами позволяет оценивать влияние каждой передаточной функции на переходный процесс, легко изменять состав модели, надежно контролировать функционирование модели по переходным характеристикам типовых динамических звеньев.

3. Программа непосредственного расчета на ЦВМ коэффициентов передаточных функций уравнения (2) и применение структурного метода значительно сокращают затраты времени на подготовку и настройку моделей, повышают производительность труда исследователя и эффективность использования АВМ при разработке САУ для оросительных систем.

Литература

1. Маковский Э.Э. Автоматизация гидротехнических сооружений в системах каскадного регулирования расходов воды. Фрунзе, "Илим", 1972.
2. Рожнов В.А. Электрические системы автоматического регулирования на ирригационных каналах. Фрунзе, "Илим", 1974.
3. Маковский Э.Э., Волчкова В.В. Автоматизация процессов трансформации неравномерного стока воды. Фрунзе, "Илим", 1977.
4. Кириллов В.В., Моисеев В.С. Аналоговое моделирование динамических систем. Л., "Машиностроение", 1977.
5. Наладка автоматических систем и устройств управления технологическими процессами. Под ред. А.С. Клюева, М., "Энергия", 1977.

Х.А. ИРМУХАМЕДОВ, канд.техн.наук

(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

ТРАНСПОРТИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОТОКА И ИНТЕНСИВНОСТЬ РАЗМЫВА БЕРЕГА НА УЧАСТКЕ ДЕЙГИША

На реке Амударье часто происходит интенсивный размыв берегов – дейгиш – одна из форм русловых деформаций.

К настоящему времени установлена некоторая общая закономерность возможности возникновения дейгиша; определены основные гидроморфологические, гидравлические и кинематические характеристики потока, сопутствующие интенсивному размыву берега /1, 8, 9/.

Как известно, дейгиш происходит при резком свале потока к берегу; при этом значительно увеличивается поперечный уклон и образуется мощная струя, имеющая повышенную скорость течения. Эта струя под большим углом атакует берег и производит его размыв, размеры которого зависят от угла атаки и мощности струи.

Однако как бы ни разрушался берег, какая бы масса грунта не рушилась в воду, если потоком она не измельчается и не переносится, то перемещения береговой линии не будет, т.е. размыв прекратится. Интенсивность смыва берега целиком зависит от интенсивности уноса потоком продуктов размыва.

Следовательно, еще одним фактором, способствующим размыву берега, является перемещение наносов вдоль берега, который зависит от транспортирующей способности потока.

Механизм переноса наносов в период разрушения берега освещен в работах С.Х. Абальянца /1/, И.Л. Розовского /10/, И.А. Кузьмина, Л.И. Викуловой /3/, А.М. Мухамедова /8, 9/ и др. Однако вопрос транспортирующей способности потока в зоне интенсивного размыва берегов изучен еще недостаточно.

В связи с тем, что на участке дейгиша русло приобретает криволинейную форму в плане, рассмотрим работы, посвященные движению потока и транспортирующей способности его на повороте русла.

Н.И. Маккавеев /7/ отмечает, что изгиб русла вызывает значительное увеличение неравномерности продольных скоростей струй в сечении потока, так как живая сила потока (энергия потока) пропорциональна скорости течения в третьей степени:

$$E = \gamma \cdot B \cdot h_ф \frac{v^3}{2g}.$$

С изгибом связано возрастание живой силы и транспортирующей способности потока приблизительно в 1,5–2 раза по сравнению с потоком в прямолинейном русле, имеющем такую же среднюю скорость.

В.Г. Кришнаппан и И.Л. Лау /6/ на основе экспериментов установили увеличение концентрации наносов на повороте русла при различном радиусе кривизны и конфигурации русла в плане.

И.А. Кузьмин и Л.И. Викулова /3/ указывают, что решающее влияние на относ наносов от берега оказывают транспортирующая способность потока у берега и его искривленность. Транспортирующая способность потока при этом зависит от скорости течения в четвертой степени $q_{тв} = AV^4$ и относительной искривленности прибрежной части потока $\frac{R}{h_{ср}}$. Поперечный перенос наносов зависит от интенсивности поперечной циркуляции и связан с продольным транспортированием наносов:

$$q_{тв.поп} = Kq_{тв.пр.}$$

(K – коэффициент пропорциональности, для песчаных наносов равен 0,15).

С.Х. Абальянц /1/, рассматривая картину смыва берега сваливающимся потоком, считает, что интенсивность смыва в данном случае целиком зависит от интенсивности уноса потоком продуктов размыва.

По С.Х. Абальянцу, относ наносов ст берега определяется в основном двумя факторами: углом поперечного свала потока к берегу и отношением наибольшей скорости течения в реке к средней.

Как отмечалось выше, скорость размыва, разрушения и отступления берега определяется интенсивностью перемещения обрушившейся массы грунта потоком.

Относ и перемещение обрушившегося грунта может происходить по пологому откосу с меньших глубин на большие, под влиянием силы тяжести и придонных скоростей струи, опускающейся по откосу; поперек потока по подвальям гряд, образующихся у основания размываемого берега; с помощью поперечной циркуляции, образующейся вдоль берега при свале потока и искривлении его в плане; измельчением, взвешиванием и отбросом грунта восходящими токами, образующимися у неровностей берега, и другими путями. Вместе с тем относ и перемещение наносов вдоль размываемого берега зависят от их механических свойств, состава (крупности), а также скорости течения, способной их перемещать. Скорость потока вдоль берега и крупность наносов - основные факторы, определяющие расход материала, соответствующий транспортирующей способности потока. Последняя на изгибе больше, чем на прямолинейном участке русла, поэтому процесс относа и перемещения наносов здесь (на участке дейгиша) ускорен; следовательно и интенсивность размыва выше.

На основании натурных и экспериментальных исследований установлено, что при дейгише свал потока к берегу приводит к резкому сужению русла, повышению скоростей течения, удельных расходов, появлению избытка кинетической энергии, увеличивающих размывающую способность потока /4, 5, 8, 9/.

Изучение кинематики потока /4, 9/ позволило установить скоростную структуру потока и оценить интенсивность поперечной циркуляций и влияние этих величин на транспортирующую способность потока на участке дейгиша.

Если поперечные составляющие скорости (поперечная циркуляция) отклоняют частицы наносов от берега и удерживают их во взвешенном состоянии, то продольные скорости (поступательная скорость движения потока) перемещают их вдоль потока и выносят за пределы участка дейгиша.

Как показали натурные исследования, размыв берега происходит не везде одинаково. Это объясняется наличием центра размыва, выше по течению и ниже которого интенсивность дейгиша постепенно ослабевает и затухает совсем /4, 9/.

Установлено /2, 4, 8, 9/, что в центре дейгиша сосредоточивается большая часть (до 90%) расхода воды, ширина русла сужается до минимума (в 2÷4 раза), скорости течения повышаются (в 1,5÷2 раза), расходы и кинетическая энергия потока имеют максимальные значения (в 2,5÷3,5 раза), средние глубины увеличиваются в 1,5÷2,5 раза по сравнению с этими величинами на подходном участке.

В центре размыва интенсивность поперечной циркуляции резко возрастает, поперечные составляющие скорости доходят до 30÷40% от продольной скорости и значительно превышают неразмывающие скорости потока для частиц наносов диаметром 0,2÷0,3 мм, которыми сложены берега и дно русла /4, 9/. Поток имеет здесь наибольшую транспортирующую способность для выноса продуктов размыва ниже по течению.

Действительно, выполненные замеры мутности потока на участках дейгиша в районах канала Клычбай /9/, пристани Турткуль /5/, а также исследования механизма дейгиша в лабораторных условиях на размываемых моделях показали, что в центре размыва мутность потока в 1,5÷2 раза выше мутности на подходном участке. Например, в районе Турткуля при расходах в реке 800÷2500 м³/с мутность потока на подходном участке ρ_1 = 1,4÷5,4 кг/м³, а в центре дейгиша ρ_2 = 2,3÷7,5 кг/м³.

На рис. 1 показаны характерные поперечные профили русла, расположенные в центре дейгиша на участке канала Клычбай (*а*) и в районе города Турткуль (*б*); приведено распределение скоростей, расходов и мутности потока по ширине русла. Из рисунка видно, что зона максимального насыщения потока наносами совпадает с зоной наибольших скоростей, располагается ближе к откосу и гребню призмы донных отложений.

На основании анализа и обработки натурных материалов по гидравлике потока, параметрам русла и мутности на участках дейгиша, экспериментальных наблюдений на размываемых

моделях и используя предложения С.Х. Абальянца, И.А. Кузьмина, мы попытались установить связь транспортирующей способности потока с его гидравлическими характеристиками, параметрами русла и крупностью наносов.

Транспортирующая способность потока на участке дейгиша зависит от расхода воды $Q = Bh_{ср} \cdot V$, угла свала потока к берегу α_c, радиуса кривизны русла R, удельного веса $\gamma_н$ и состава наносов (гидравлической крупности w), ускорения силы тяжести g и других факторов.

Как было указано выше, на участке дейгиша в результате искривления русла в плане образуется винтообразный поток (поперечная циркуляция), который при прочих равных условиях обладает более повышенной транспортирующей способностью, чем прямолинейный поток.

Функциональную связь между транспортирующей способностью потока и его гидравлическими элементами, о которых говорилось выше, можно представить в виде

$$P_g = f(B_q, h_q, V_q, W, R, \alpha_c, \gamma, g). \qquad (1)$$

Воспользовавшись теорией размерности и применив π теорему Букингема к уравнению (1), получим следующую функциональную связь между безразмерными величинами:

$$P_g = \varphi\left(\frac{\gamma_н \cdot V_q^3}{gRW}; \frac{B_q}{h_q}; \sin\alpha_c\right) \qquad (2)$$

при условии $0 < R < \infty$.

Для выяснения связи между указанными величинами воспользуемся многофакторным анализом. Тогда уравнение (2) можно представить так:

$$P_g = K_1\left(\frac{\gamma_н \cdot V_q^3}{gRW}\right)^{x_1} \cdot \left(\frac{B_q}{h_q}\right)^{x_2} \left(\sin\alpha_c\right)^{x_3}. \qquad (3)$$

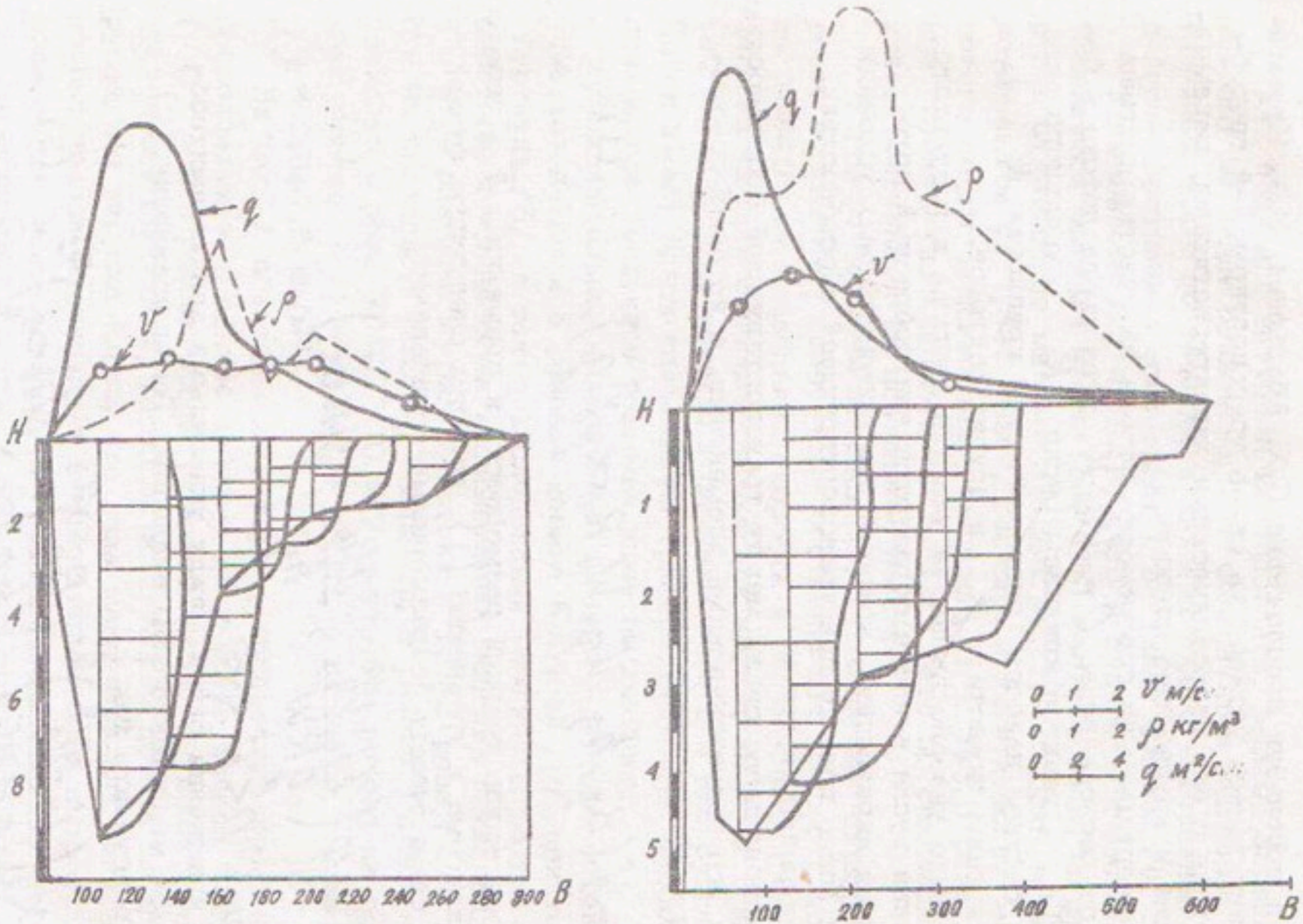


Рис.1. Распределение расхода, скорости и мутности потока по ширине русла: а – в районе канала Клычбай; б – то же г.Турткуль.

Коэффициент K_1, показатели степени x_1, x_2, x_3 были подсчитаны в ВЦ САНИИРИ на ЭВМ БЭСМ-4М. Исходным материалом послужили натурные данные по р. Амударье в районах канала Клычбай /9/, пристани Турткуль /5/, в створе гидропоста Ильчик /2/, в районе водозабора в Каршинский магистральный канал, а также лабораторные данные. Эксперименты проводились на размываемых моделях, в качестве наносов ложа и берегов русла были использованы кальцинированные опилки, мелкий песок и измельченный керамзит, характеристики которых приведены в таблице.

Таблица

Материал	Диаметр (d), мм	Гидравлическая крупность (w), мм/с	Удельный вес ($\gamma_н$), т/м³	Объемный вес (G), т/м³	Неразмывающая скорость (V_0), см/с
Опилки	1	15,0	1,04	0,6	8÷10
Песок	0,25		2,65	1,6	20÷22
Керамзит	0,63	6,0	1,6	0,82	12÷15

Обработка натурных и опытных данных (всего 46, из них 20 – натурные) методом множественного корреляционного анализа показала следующие результаты нахождения неизвестных в уравнении (3):

$$K = 0{,}78, \quad x_1 = 1/3, \quad x_2 = 1/7, \quad x_3 = 1/2.$$

В результате вместо уравнения (3) имеем следующее уравнение для определения транспортирующей способности потока на участке дейгиша:

$$\rho = 0{,}78 \left(\frac{\gamma_н V_д^3}{gRw}\right)^{1/3} \left(\frac{B_д}{h_д}\right)^{1/7} \cdot \sin\alpha_c^{1/2}. \qquad (4)$$

При этом коэффициенты корреляции для каждого члена уравнения (4) составили

$$r_{x_1} = 0{,}877, \quad r_{x_2} = 0{,}918, \quad r_{x_3} = 0{,}925.$$

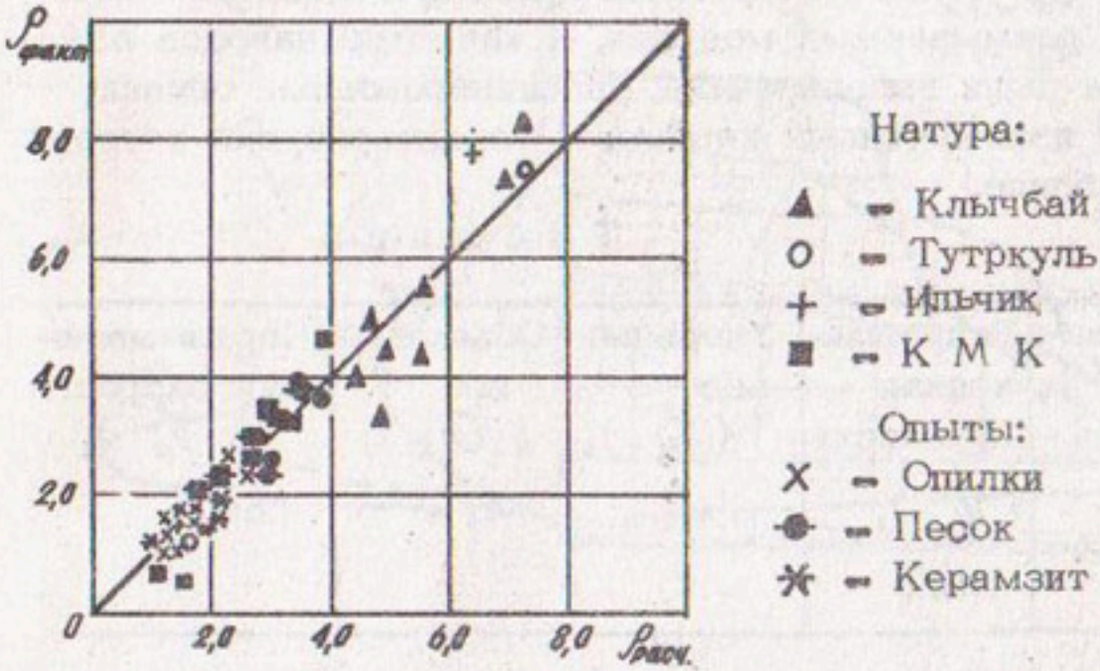


Рис. 2. Сопоставление фактических данных с расчетными по формуле определения транспортирующей способности потока на участке.

На рис. 2 дано сопоставление фактической транспортирующей спрсобности потока с расчетной, подсчитанной по формуле (4).

Для оценки приемлемости полученной зависимости (4) рассчитаем транспортирующую способность потока на участке дейгиша по методикам С.Х. Абальянца /1/, А.И.Кузьмина и Л.И. Викуловой /3/.

Для условий р. Амударьи в районе г. Турткуль при Q = 2500 м^3/с B = 250 м, h_g = 3,8 м, $h_{ф_1}$ = 1,67 м, $V_{ср}$ = 2,63 м/с, $V_м$ = 3,58 м/с, H_{max} = 6,5 м, d = 0,0002 м, W = 0,0227 м/с, R = 1575 м, α_c = 33°, q = 10 м^2/с, J = 0,00021, e = 0,3, ν =10·10^{-7}м^2/

По С.Х.Абальянцу /1/, мутность потока от продуктов размыва

$$\rho_1 = 0{,}026 \cdot e^{\frac{V_м^3 - V_{ф}^3}{hw}}, \qquad (5)$$

$$\rho_1 = 0{,}026 \cdot 0{,}3^{\frac{3{,}58^3 - 2{,}63^3}{6{,}5 \quad 0{,}0227}} = 1{,}46 \text{ кг/м}^3.$$

Твердый расход

$$q_{тв1} = \rho_1 q \cdot \sin\alpha_c = 1{,}46 \quad 10 \quad 0{,}54 = 7{,}90 \text{ кг/с}.$$

Для тех же данных определим мутность потока в самой реке по формуле С.Х. Абальянца /1/:

$$\rho_2 = 0{,}026 \frac{V_{ср}^3}{h_{ср} w} \qquad (6)$$

$$\rho_2 = 0{,}026 \frac{2{,}63^3}{3{,}8 \quad 0{,}0227} = 5{,}50 \text{ кг/м}^3.$$

Твердый расход

$$q_{тв2} = \rho_2 q = 5{,}50 \quad 10 = 55{,}0 \text{ кг/с}.$$

Полная транспортирующая способность потока

$$\rho = \rho_1 \cdot \sin\alpha_c + \rho_2 = 1{,}46 \; 0{,}54 + 5{,}50 = 6{,}29 \text{ кг/м}^3.$$

Полный твердый расход реки

$$q_{тв} = q_{тв1} + q_{тв2} = 7{,}9 + 55{,}0 = 62{,}9 \text{ кг/с}.$$

По И.А. Кузьмину и Л.И. Викуловой /3/, поперечный расход от размыва берега в условиях реки Амударьи

$$q_{тв.поп.} = K q_{тв.пр} = 0{,}15 \, q_{тв.пр}. \qquad (7)$$

Твердый продольный расход в самой реке $q_{тв.пр} = q \cdot \rho_р$.

Мутность потока определим по зависимости /3/

$$\rho_р = 0{,}024 \frac{v_{ср}^3}{h_{ср} \cdot w} = 0{,}024 \frac{2{,}63^3}{3{,}8 \quad 0{,}0227} = 5{,}10 \text{ кг/м}^3,$$

$q_{тв.пр.} = 10 \quad 5{,}10 = 51{,}0$ кг/с.

Поперечный расход наносов $q_{тв.поп} = 0{,}15 \quad 51{,}0 = 7{,}60$ кг/с.

Полный твердый расход реки

$$q_{тв.} = q_{тв.пр.} + q_{тв.поп.} = 51{,}0 + 7{,}60 = 58{,}6 \text{ кг/с}.$$

Мутность потока оказалась равной $\rho = 5{,}86$ кг/м^3.

Установим транспортирующую способность потока в основном русле на участке дейгиша у г. Турткуль по зависимости, полученной в отделе русл САНИИРИ О.А. Каюмовым для условий р. Амударьи /5/:

$$\rho_р = 0{,}2 \left[2640 \left(\frac{Q}{\sqrt{d}}\right)^{0{,}25} \left(\frac{J}{a}\right)^{0{,}75} - 1\right]^{3/2}, \quad (8)$$

$$\rho_р = 0{,}2 \left[2640 \left(\frac{2500}{10 \cdot 2}\right)^{0{,}25} \left(\frac{0{,}00021}{1{,}65}\right)^{0{,}75} - 1\right]^{3/2} = 5{,}55 \text{ кг/м}^3.$$

Полученные по приведенным выше зависимостям значения мутности потока оказались, примерно, одинаковыми.

По зависимости (4) определим полную транспортирующую способность потока в центре дейгиша:

$$\rho_р = 0{,}78 \left(\frac{2650}{9{,}81} \frac{3{,}58^3}{1575 \quad 0{,}0227}\right)^{1/3} \left(\frac{250}{3{,}80}\right)^{1/7} (0{,}54)^{1/2} =$$

$$= 7{,}3 \text{ кг/м}^3.$$

Твердый расход $q_{тв.} = q \rho_д = 10 \cdot 7{,}3 = 73{,}0$ кг/с;

Мутность $\rho_д$ = 7,5 кг/м³.

Транспортирующая способность потока в центре дейгиша оказалась в 1,4 раза больше, чем в основном русле перед участком дейгиша. Следовательно, за счет размыва берега поток транспортирует добавочный расход наносов в количестве

$$\rho_б = \rho_д - \rho_р = 7{,}5 - 5{,}4 = 2{,}1 \text{ кг/м}^3$$

или $$q_{тв.б} = q\rho_б = 10 \cdot 2{,}1 = 21 \text{ кг/с}.$$

Так как интенсивность размыва берега при дейгище целиком зависит от транспортирующей способности потока, то, установив величину ее по зависимости (4), можно определить интенсивность размыва (во времени) одного метра береговой полосы.

Интенсивность размыва берега зависит от расхода $q_{макс.}$ транспортирующей способности потока у берега $\rho_б = \rho_д - \rho_р$; объемного веса грунта $\gamma_{гр.}$, максимальной глубины у берега $H_д$, высоты береговой кромки под уровнем воды в реке $\Delta H_б$ и может быть вычислена по формуле

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{\rho_б \cdot q_{макс.}}{\gamma_{гр.}(H_д + \Delta H_б)} . \qquad (9)$$

Из зависимости (9) следует, что при росте расхода и транспортирующей способности потока интенсивность береговой деформации повышается, а при увеличении глубины потока и высоты береговой кромки она уменьшается. С другой стороны, при высокой транспортирующей способности потока интенсивность размыва велика.

Значение $\Delta H_б$ устанавливается на основании измерения высоты береговой кромки или по материалам плановой съемки русла и берега в горизонталях.

Рассмотрим, с какой интенсивностью размывается берег Амударьи в районе г. Турткуль при высоте береговой кромки на этом участке ΔH = 2,0 м, максимальной глубине

H_q = 6,5 м, максимальном расходе q_{max} = 10 м^2/с.

Транспортирующая способность потока у берега

$\rho_б$ = 2,1 кг/м^3; $\gamma_{гр.}$ = 1700 кг/м^3.

Тогда в течение 1 секунды будет смыта береговая полоса шириной

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{2,1 \quad 10}{1700(6,5+2,0)} = 0,00015 \text{ м/с.}$$

В течение суток будет смыто ΔB = 0,00015 · 3600 · 24 = = 13,0 м/сут. В 1972 г. в районе г. Турткуль при Q=2500 м^3/с наибольшая среднесуточная интенсивность размыва составила ΔB = 14 м/сут. /6/.

Расчетные значения интенсивности размыва берега оказались, примерно, одинаковыми с измеренными в натуре.

Таким образом, на основании теоретического анализа и результатов обработки натурных и экспериментальных исследований с учетом основных определяющих факторов выявлена транспортирующая способность потока на участке дейгиша, позволившая установить интенсивность береговой деформации во времени. Следовательно, решающим фактором в процессе размыва берега является транспортирующая способность потока. Установив ее величину в зоне дейгиша, можно определить интенсивность смыва береговой полосы по длине рассматриваемого участка.

Литература

1. Абальянц С.Х. Глубина размыва у берегозащитных креплений на Амударье. Вопросы гидротехники, вып. 27, Ташкент. "Наука", 1965.
2. Алтунин В.С., Аннаев С.А., Аширов С.А. Интенсивные русловые деформации реки Амударьи, Ашхабад, "Ылым", 1975.

3. Викулова Л.И. Начальная стадия формирования искусственных русл в песчаных грунтах. Сб. Динамика и термика речных потоков, М., "Наука", 1972.

4. Ирмухамедов Х.А., Когтева И.В. Некоторые результаты исследования структуры распределения скоростей в потоке на участке дейгиша. Труды САНИИРИ, вып. 124, Ташкент, 1970.

5. Каюмов О.А., Кучкаров М.М. Некоторые результаты исследований дейгиша на р. Амударье в районе Турткуля. Сб. научных трудов САНИИРИ, вып. 137, Ташкент, 1973.

6. B.G. Krishnappan and Lau "Transverse mixing in meandering channels with varying bottom topography" Journal of hydraulic Research, Volume-15, no 4, 1977.

7. Маккавеев Н.И. Общие закономерности эрозионно-русловых процессов. Труды 1У Всесоюзного гидрологического съезда, т. 10, "Русловые процессы", Л., Гидрометеоиздат, 1976.

8. Мухамедов А.М., Ирмухамедов Х.А., Каюмов О.А., Уркинбаев Р.К., Тузов В.Е., Когтева И.В. Исследование русловых процессов на р. Амударье. Труды 1У Всесоюзного гидрологического съезда, т. 10 "Русловые процессы", Л., Гидрометеоиздат, 1976.

9. Мухамедов А.М., Ирмухамедов Х.А., Тузов В.Е., Когтева И.В. Некоторые результаты изучения гидравлических элементов и кинематики потока на участке дейгиша. Труды САНИИРИ, вып. 124, Ташкент, 1970.

10. Розовский И.Л. Некоторые вопросы гидравлики наносонесущих потоков. Сб."Речная гидравлика и русловые процессы", ч. 1, МГУ, 1976.

Х.А. ИРМУХАМЕДОВ, канд.техн.наук
Г.И. ЧЕРНИКОВА, инженер
А.Р. ХАЛИКОВ, инженер

(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ РУСЛОВЫПРАВИТЕЛЬНЫХ ПРОРЕЗЕЙ В УСЛОВИЯХ р. АМУДАРЬИ

Одним из распространенных методов борьбы с дейгишем является регулирование русла реки с помошью русловыправительных прорезей. Этот метод не требует больших трудовых затрат, строительных материалов, обеспечивает полную механизацию работ, экономически выгоден и эффективен по сравнению с другими – преимущества, свидетельствующие о целесообразности его дальнейшего широкого использования.

В связи с указанным, отделом русл САНИИРИ совместно с проектировщиками института "Узгипроводхоз" разработаны метод гидравлического расчета и комплекс практических рекомендаций по осуществлению спрямляющих прорезей в условиях р. Амударьи. Расчет состоит из двух частей:

– рассчитываются размеры пионерного прокопа;

– проектируется и рассчитывается саморазмыв прорези.

Предварительно необходимо подобрать и рассчитать исходные данные, характеризуюшие плановое расположение русла на участке отвода спрямления (ширину подходного участка реки B ; угол отвода и угол подхода прорези θ, ψ ; коэффициент извилистости русла – $K_{изв.}$), и дать гидрологическую характеристику реки по расчетным интервалам (расход Q , мутность и гидравлическую крупность взвешенных наносов $\rho_{взв.}, U$, уклон и среднюю глубину реки на подходном участке i, h). В условиях резко изменяющегося расхода твердого и жидкого стока расчет необходимо вести по расчетным интервалам продолжительностью не более 1 месяца.

Размеры пионерного прокопа рассчитывают по исходным данным первого расчетного интервала. Среднюю глубину входного сечения прокопа необходимо определять из условия равенства удельной энергии сечения реки и прокопа $\vartheta = \vartheta_c$. Однако в условиях легкоразмываемого незакрепленного русла прокопа можно пренебречь разностью $\frac{v^2}{2g} - \frac{v_c^2}{2g}$ и принять

$$h_c = h.$$

Одно из основных требований при строительстве пионерного прокопа – минимальная выемка грунта. Вместе с тем необходимо обеспечить устойчивость трассы первоначального спрямляющего русла, т.е. назначить его размеры обоснованно, исходя из общих закономерностей формирования естественного русла.

В наносотранспортирующем потоке устойчивость отвода прежде всего определяется способностью его транспортировать поступающие из реки наносы. В результате проведенных в отделе русл САНИИРИ исследований по уточнению связи мутности русловых наносов с гидравлическими элементами и основными факторами руслового процесса /1, 2/ получены расчетные зависимости для определения необходимой ширины спрямляющей прорези.

При известных значениях мутности

$$b_c = \frac{Q_c}{178\, S^{1/3} h_c^{4,5} (qi)_c^{1,5}} \cdot \frac{1}{\cos(\theta - \psi)}, \qquad (1)$$

где Q_c – расход прокопа, принятый не менее $0{,}5\,Q$;

$S_{взв} = \frac{\rho_{взв}}{\gamma_н}$ – относительная мутность;

θ – угол отвода прорези;

ψ – угол подхода потока к головной части прорези.

Если нет данных о мутности, но известна средняя ширина бытового русла на участке отвода спрямления, то ширину пионерного прокопа можно определить по формуле

$$b_c = b\left(\frac{h}{h_c}\right)^{1,5} \frac{Q_c}{Q}\left(\frac{i}{i_c}\right)^{0,5} \cdot \frac{1}{\cos(\theta-\psi)}. \qquad (2)$$

При спрямлении пологих излучин, характерных для условий р. Амударьи, когда коэффициент извилистости не превышает $K_{изв} = 1,5$ и спрямление дает незначительное увеличение уклона по сравнению с рекой, ширина пионерного прокопа получается равной 100–120 м и более, что требует значительного объема земляных работ при его строительстве. Для уменьшения этих объемов в условиях р. Амударьи применяют два способа сокращения ширины пионерного прокопа:

1) за счет увеличения уклона и глубины потока в прорези путем создания подпора на входе (способ пуска пионерного прокопа при частичном перекрытии главного русла перемычкой);

2) за счет доработки прокопа до расчетных размеров землесосами (способ пуска без перекрытия).

В первом случае производят расчеты для нескольких вариантов, различающихся принимаемыми значениями подпора уровня на входе в прокоп "Z". Для каждого принятого значения "Z" определяют

глубину на входе –

$$h_c = h + Z,$$

уклон в спрямлении –

$$i_c' = i_c + \frac{Z}{l_2},$$

ширину прокопа b_c – по формуле (1) или (2), степень стеснения основного русла перемычками, используя методику И.В. Лебедева /3/. Окончательный вариант выбирается после сравнения полной стоимости всех работ, включающей строительство перемычки, дамб обвалования, пионерного прокопа.

Во втором случае, когда первоначальная ширина спрямления уменьшается за счет последующей доработки землесосами, ширину пионерного прокопа принимают в пределах b_c' = (60–80) м. Одновременно по одной из зависимостей (1) или (2) определяют устойчивую ширину первоначального русла. По разности поперечных сечений при ширине расчетной и принятой

из условия производства работ определяют объем необходимой доработки землесосами:

$$W_{земл} = H l_c (b_c - b_c'), \qquad (3)$$

где H – средняя высота берега над дном реки.

Задача проектирования саморазмыва прорези заключается в том, чтобы обеспечить увеличение доли поступающего расхода и устойчивое протекание потока.

Доля расхода пионерного прокопа ($Q_c = 0{,}5Q$), принятая из условия минимального объема земляных работ, в процессе саморазмыва должна быть увеличена до 70%. Только после этого в излучине начнется отложение наносов и, соответственно, потеря пропускной способности.

В практике строительства русловыправительных прорезей на Амударье увеличение относительного расхода прорези по времени достигается путем стеснения русла излучины перемычкой и повышения уровня воды на подходном участке. Формирование прорези в этих условиях происходит при одновременном воздействии нарастающего паводочного расхода и подпора.

Расчет саморазмыва прорези сводится к определению требуемой глубины подпора уровня на входе и ширины русла при заданных по интервалам расходах воды:

$$h_c = \frac{1}{178^2} \cdot \frac{1}{A_c^2} \cdot \frac{1}{S_{бзб}^{2/3}} \cdot \left(\frac{Q_c}{U}\right)^{0,5}, \qquad (4)$$

где A_c – коэффициент режима потока на входе в прокоп, определяется, исходя из начальных условий по формуле

$$A_c = \frac{1}{178} \cdot \frac{1}{h_c^{0,5}} \cdot \frac{1}{S_{бзб}^{1/3}} \left(\frac{Q_c'}{U}\right)^{0,25}, \qquad (5)$$

$$Z = h_c - h.$$

Устойчивая ширина русла определяется по одной из формул (1) или (2).

Основные закономерности формирования русла спрямления по длине аналогичны бытовому руслу. Поэтому для выполнения расчета необходимо знание закономерностей периодического изменения гидравлических элементов по длине русла. Однако при современной степени изученности этого вопроса дать достаточно точные расчетные зависимости в общем виде не представляется возможным. Можно лишь рекомендовать методику расчета изменения ширины спрямления в зависимости от увеличения или уменьшения глубины вдоль кривой спада. По этой методике, построив кривую спада в виде прямой линии, соединяющей отметку подпертого уровня в начале спрямления и отметку бытового уровня в конце, находят средние глубины по длине спрямления, исходя из которых затем рассчитывают соответствующие значения Ac и bc.

По разности площадей поперечных сечений между интервалами определяют объем размыва и интенсивность деформации за сутки.

Частичное перекрытие излучины с целью увеличения относительного расхода спрямления лучше производить осенью после прохождения максимальных паводочных расходов, как это выполнялось в Ташсака (1970 г.). Перекрытие или стеснение русла весной связано с большими трудностями и во многом зависит от условий прохождения паводочных расходов. При интенсивном нарастании паводка может произойти перелив через перемычку.

Гидравлический расчет составлен на основе накопленного за последнее время опыта строительства спрямлений на р. Амударье. Определение размеров спрямления и требуемого подпора с учетом изменяющейся мутности воды, которая в паводковый период резко колеблется, дает возможность предотвратить потерю пропускной способности с самого начала работы по спрямлению и не вызвать завала наносами лежащего ниже участка реки.

Достоверность расчета зависит от точности определения и прогноза гидрологических характеристик подходного участка

реки. Пуск спрямления рекомендуется проводить в предпаводочный период – март-апрель месяцы.

Для увеличения пропускной способности и сокращения объема работ рекомендуется:

– перекрывать второстепенные протоки на подходном участке реки;

– использовать существующие протоки при трассировании прорези.

Для поддержания работ по спрямлению излучин необходимы систематический надзор и осуществление эксплуатационных мероприятий.

По разработанной методике произведены расчеты при составлении проектов русловыправительных прорезей на р. Амударье в районах колхозов им. Дмитрова и им. Ильича, в районе г. Турткуля. Прорези успешно включены в работу, и опасность размыва культурных земель в этих районах полностью ликвидирована.

Литература

1. Ирмухамедов Х.А., Черникова Г.И. Расчет пионерных прокопов при спрямлении излучин в условиях р. Амударьи. Сб.научных трудов САНИИРИ, вып. 152, Ташкент, 1977.
2. Мухамедов А.М., Ирмухамедов Х.А., Черникова Г.И. Транспортирующая способность руслового потока и деформация спрямляющей прорези в условиях р. Амударьи. Сб. научных трудов САНИИРИ, вып. 156. Ташкент, 1978.
3. Лебедев И.В. К оценке перепадов при стеснении спокойных потоков, Труды МЭИ, вып. XXXУ1, М., Госэнергоиздат, 1961.

4. Халиков А.Р. Установление оптимального угла отвода трассы спрямляющей прорези. Сб. научных трудов САНИИРИ, вып. 152, Ташкент, 1977.

В.В. БОГАТЫРЕВ, инженер

МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ НА ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Межхозяйственная оросительная система (МОС) моделируется потоковой сетью /1/ $S(N,U)$, в которой множество узлов N отображает совокупность водозаборных, распределительных и выпускных сооружений, а множество дуг U – каналы, соединяющие эти сооружения. К каждой дуге $(ij) \in U$ отнесем поток $q_j(t)$, равный текущему расходу воды в соответствующем канале. При некоторых допущениях вектор $Q(t)=\{q_j(t)\}$ потокораспределения в сети S однозначно определяет установившийся режим МОС в любой момент времени. Составляющие $q_j(t)$ имеют стохастический характер, а требуемые значения $Q_0=\{q_{j0}\}$ определяются некоторой допустимой областью их изменения $\Omega(Q_0)$. Если R – множество водовыпусков на МОС ($R \subset N$), то область $\Omega(Q_0)$ характеризуется выполнением на каждом j-м ($j \in R$) водовыпуске отношения /2/

$$\Delta q_j(t)/q_{j0} \leq 0{,}04, \qquad (1)$$

где $\Delta q_j(t)=|q_{j0}-q_j(t)|$.

Задача системы оперативного контроля и управления (ОКУ) состоит в выполнении (1). С помощью системы централизованного контроля и управления (ЦКУ) в системе ОКУ производится сбор и передача осведомительной и управляющей информации. При отказах в системе ЦКУ теряется информация о процессе $Q(t)$, повышается его энтропия за счет выпадания отдельных точек контроля из общего поля параметров $\sum_N q_j(t)$. Следствием этого являются технологические потери, характеризующие эффективность функционирования системы ОКУ. В качестве критерия эффективности можно использовать критерий средних потерь /3/. Средние потери по всем контролируемым пунктам (КП) системы ЦКУ при всех видах отказов составят /1/

$$\bar{w}_{кп} = \sum F_{j кп} \cdot M[\Delta q_j(t)] \cdot \bar{\tau}_j^{кп},$$

где $F_{j кп}$ – средняя частота отказов j – го КП;

$M[\Delta q_j(t)]$ – математическое ожидание функции $\Delta q_j(t)$ для j –го КП;

$\bar{\tau}_j^{кп}$ – среднее время простоя j –го КП при отказе.

Средние потери при отказе пункта управления (ПУ) системы ЦКУ равны

$$\bar{w}_{пу} = F_{пу} \sum_Z M[\Delta q_j(t)] \cdot \bar{\tau}^{пу}, \quad j \in Z \subseteq R,$$

где $F_{пу}$ – средняя частота отказов аппаратуры ПУ;

$\bar{\tau}^{пу}$ – среднее время простоя аппаратуры ПУ при отказе;

Z – множество КП, информация с которых теряется при отказе ПУ.

Общие средние потери по системе ЦКУ определяются суммой

$$\bar{w}_{цку} = \bar{w}_{кп} + \bar{w}_{пу}.$$

Из (1) видно, что за период T общие потери на МОС по всем R водовыпускам, включая и потери (2) по причине ненадежности системы ЦКУ, должны отвечать отношению

$$\sum_R \Delta W_j = \bar{W}_{над.} + \bar{W}_{т.к.у.} \leq 0{,}04 \sum_R W_{j0},$$

где ΔW_j – потери стока воды за период T на j-ом водовыпуске;

W_{j0} – заданный сток воды на период T на j-ом водовыпуске;

$\bar{W}_{над}$ – потери стока по причине ненадежности системы ЦКУ;

$\bar{W}_{т.к.у.}$ – потери, обусловленные неточностью контроля и управления.

Качество функционирования системы ЦКУ определяется выполнением условия $\bar{W}_{цку} \leq \bar{W}_{над.}$ Таким образом, ставится задача определения средних потерь по системе за период T по причине ненадежности аппаратуры системы ЦКУ. Эта задача решается следующим путем.

Рассмотрим модель функционирования системы ЦКУ как системы массового обслуживания с потерями, состоящими из общего устройства, n каналов передачи информации и n обслуживающих приборов. Каждый прибор обслуживает однородный поток заявок от одного источника, т.е. поток дискретной информации о состоянии процесса $q_i(t)$. Каждый элемент системы в любой момент времени t может находиться в одном из двух состояний: исправном или неисправном (отказ). Общее устройство, каналы передачи информации и приборы выходят из строя независимо друг от друга с интенсивностями $\lambda_0(t)$, $\lambda_{ki}(t)$, $\lambda_{ni}(t)$, соответственно, и восстанавливают работоспособность с интенсивностями

$$\mu_0(t),\ \mu_{ki}(t),\ \mu_{ni}(t);\quad i=\overline{1,n}.$$

Процесс функционирования системы является случайным и состоит из последовательных интервалов работоспособности $\tau_р$, чередующихся с интервалами простоя $\tau_п$, определяемыми временем восстановления $\tau_в$. Отказы и восстановления системы составляют множество ее состояний, общее число которых равно $2 \cdot 2^{2n}$. При большом n такое количество состояний трудно поддается аналитическому анализу. Но если принять, что заявки обслуживаются системой последовательно, то в любой момент времени t систему ЦКУ можно рассматривать как систему, состоящую только из общего устройства, i-го канала передачи информации и i-го прибора. Получим i-ую систему $О-К-П$, которая имеет всего восемь состояний: $в_1$: О – исправно, К – исправен, П – исправен; $в_2$: О – неисправно, К – исправен, П – исправен; $в_3$: О – неисправно, К – неисправен, П – исправен; $в_4$: О – неисправно, К – неисправен, П – неисправен; $в_5$: О – неисправно, К – исправен, П – неисправен; $в_6$: О – исправно, К – исправен, П – неисправен; $в_7$: О – исправно, К – неисправен, П – неисправен; $в_8$: О – исправно, К – неисправен, П – исправен.

Граф состояний системы $О-К-П$ представлен на рис. 1, где стрелками обозначены потоки событий с соответствующими интенсивностями.

Все состояния системы делятся на две группы состояний: $У_1$ – система работоспособна (состояние $в_1$) и $У_2$ – система неработоспособна (состояния $в_2, в_3, в_4, в_5, в_6, в_7, в_8$). Так как нас интересует среднее время пребывания системы в состоянии неработоспособности, то вместо графа, изображенного на рис. 1, будем рассматривать обобщенный граф на рис. 2, где $\lambda_{ci}(t) = \lambda_о(t) + \lambda_{кi}(t) + \lambda_{пi}(t)$; $\mu_{ci}(t) = \mu_о(t) + \mu_{кi}(t) + \mu_{пi}(t)$ – интенсивности потоков отказов и восстановлений системы $О-К-П$. Потоки событий в системе можно считать пуассоновскими /4/, тогда процесс ее перехода из состояния в состояние будет марковским с непрерывным временем. Дифференциальные уравнения, определяющие вероятности $P_{1i}(t)$ и $P_{2i}(t)$ нахождения

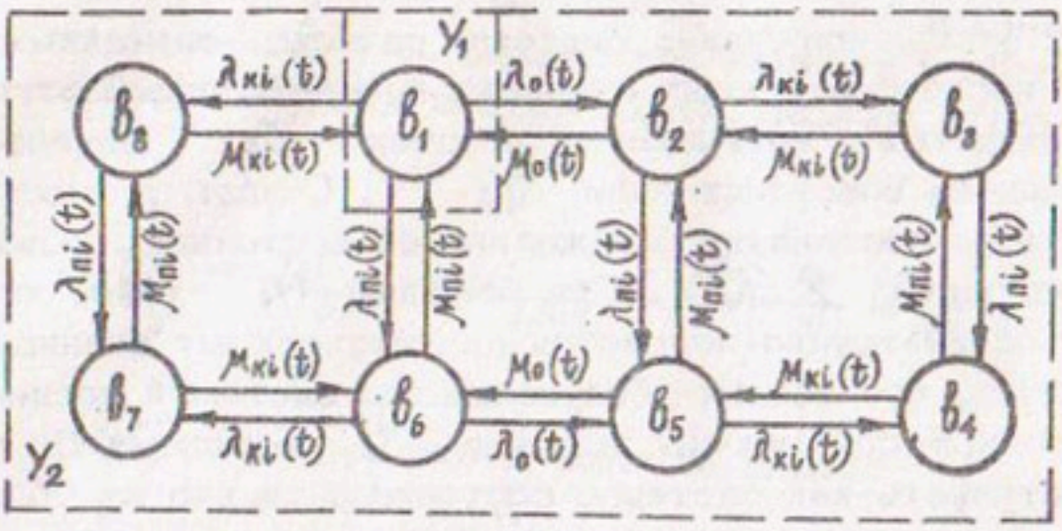


Рис. 1. Граф состояний системы

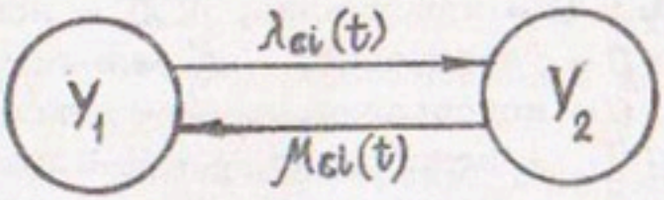


Рис. 2. Обобщенный граф состояний системы

системы в момент времени t в группе состояний y_1 или y_2, имеют вид

$$\frac{dP_{1i}(t)}{dt} = -\lambda_{ci}(t)\cdot P_{1i}(t) + \mu_{ci}(t)\cdot P_{2i}(t); \quad (4)$$

$$\frac{dP_{2i}(t)}{dt} = -\mu_{ci}(t)\cdot P_{2i}(t) + \lambda_{ci}(t)\cdot P_{1i}(t) \quad (5)$$

с начальными условиями $P_{1i}(0),\ P_{2i}(0).$ (6)

Для системы ЦКУ, имеющей n каналов передачи информации и n приборов, требуется n систем уравнений (4), (5) и начальных условий (6).

Система уравнений (4),(5) является системой обыкновенных линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. Применив для ее решения преобразования Лапласа-Карсона, для начальных условий $P_{1i}(0)=1$, $P_{2i}(0)=0$ получим

$$P_{1i}(t)=\frac{\lambda_{ci}(t)}{a}\left(1-e^{-at}\right); \qquad (7)$$

$$P_{2i}(t)=\frac{\mu_{ci}(t)}{a}+\frac{\lambda_{ci}(t)}{a}e^{-at}, \qquad (8)$$

где $a=\lambda_{ci}(t)+\mu_{ci}(t)$

Вероятность наступления в системе K отказов за период времени T определится по известной формуле

$$P(K)=\frac{[\lambda_{ci}(t)\cdot T]^K}{K!}e^{-\lambda_{ci}(t)\cdot T}. \qquad (9)$$

Определим функцию распределения $F(\tau_n)$ времени τ_n пребывания системы $0-К-П$ в нерабочем состоянии. Она равна вероятности того, что время τ_n будет меньше, чем t, т.е. к моменту времени t система $0-К-П$ будет находиться не в состоянии y_2, а в состоянии y_1: $F(\tau_n)=P(\tau_n\leq t)=P_{1i}(t)$. Плотность распределения непрерывной случайной величины определится выражением

$$f(\tau_n)=\frac{dF(\tau_n)}{dt}=\frac{dP_{1i}(t)}{dt},$$

Воспользовавшись (4), получим:

$$f(\tau_n) = -\lambda_{ci}(t)\cdot P_{1i}(t) + \mu_{ci}(t)\cdot P_{2i}(t)$$

Имея $f(\tau_n)$, определим среднее время нахождения системы $О\text{-}К\text{-}П$ в неработоспособном состоянии:

$$\bar{\tau}_n = M[\tau_n] = \int_0^T \tau_n \cdot f(\tau_n)\, d\tau. \qquad (10)$$

Подставляя в (10) выражения для $f(\tau_n)$, $P_{1i}(t)$ и $P_{2i}(t)$ и проведя интегрирование, окончательно получим:

$$\bar{\tau}_n = \frac{\lambda_{ci}^2(t) + \mu_{ci}(t)\cdot\lambda_{ci}(t)}{a^2}\left[T\cdot e^{-aT} + \frac{1-e^{-aT}}{a}\right],$$

где $a = \lambda_{ci}(t) + \mu_{ci}(t)$.

Вычислив из (9) наиболее вероятное число отказов K системы $О\text{-}К\text{-}П$ за период T и умножив его на $\bar{\tau}_n$, получим среднее время простоя системы за период T: $\bar{t}_n = K\cdot\bar{\tau}_n$. Определив экспериментально математическое ожидание $M[\Delta q_j(t)]$ для j-го ($j \in R$) КП, можно вычислить средние потери по данному КП за период времени T по причине ненадежности системы ЦКУ:

$$\bar{w}_j = M[\Delta q_j(t)]\cdot\bar{t}_n. \qquad (11)$$

Суммируя (11) по всем $j \in R$ и сравнивая полученные потери с заданным значением $W_{зад.}$, можно оценить качество функционирования системы ЦКУ при известных параметрах ее надежности и статистических характеристиках процесса $q_j(t)$.

Полученные описанным аналитическим методом результаты будут ориентировочными, т.к. сама математическая модель является упрощенной в результате принятых допущений относительно потоков событий в системе. Кроме того, не рассматривалось отдельно состояние системы, когда неисправно только общее устройство. В этом случае потери по системе складываются из потерь по отдельным источникам, заявки с которых система не обслужила за время простоя общего устройства.

Более точную оценку потерь по причине ненадежности системы ЦКУ можно получить, используя имитационный анализ функционирования системы на ЭВМ методом статистического моделирования.

На приведенной математической модели системы ЦКУ можно решить и другую задачу: при известных статистических характеристиках процесса $Q(t)$ и заданном количестве КП определить требуемую надежность системы ЦКУ, чтобы суммарные средние потери по системе по причине ее ненадежности не превышали заданного значения.

Выводы

1. Математическую модель системы ЦКУ можно представить в виде модели системы массового обслуживания с потерями. За критерий качества функционирования системы ЦКУ принимается критерий средних потерь.

2. Качество функционирования системы ЦКУ зависит от параметров надежности ее элементов и статистических характеристик контролируемого параметра $Q(t)$.

3. Оценка средних потерь в системе ЦКУ по ее аналитической модели является ориентировочной ввиду принятых допущений относительно пуассоновского характера потоков отказов и восстановлений в системе. Точная оценка средних потерь

получается при имитационном анализе системы на ЭВМ методом статистического моделирования.

Литература

1. Богатырев В.В. Задачи оптимизации структуры системы оперативного контроля и управления. Тезисы докладов совещания "Задачи в области научных исследований, проектирования и эксплуатации автоматизированных систем гидромелиоративных систем", Ташкент, Среднеаз. отд. ВАСХНИЛ, 1978.
2. Закусилов Н.А. Автоматизация оросительных систем и ее экономическая эффективность. Фрунзе, "Илим", 1975.
3. Шастова Г.А. Критерий средних потерь для оценки надежности систем управления. "Автоматика и телемеханика" № 6. М., 1962.
4. Дружинин Г.В. Надежность устройств автоматики. М.-Л., "Энергия", 1964.

И.И. ГОРОШКОВ, канд.техн.наук

В.С. ХАЧИКЯНЦ, инженер

С.А. ПОЛИНОВ, канд.техн.наук

(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОЛЬМАТАЦИИ УЛЬЯНОВСКОГО КАНАЛА В КАРШИНСКОЙ СТЕПИ

Одним из путей снижения фильтрации в каналах является кольматация и заиление их ложа взвешенными наносами. Этот метод при соблюдении соответствующих технических условий, основанных на естественном природном процессе движения твердого стока, позволяет значительно уменьшить потери и по сравнению с облицовками других видов отличается малой капиталоемкостью. При развитии производственной мощности расширение таких каналов является легко доступным при незначительных потерях первоначальных затрат.

По рекомендации САНИИРИ этот метод применен в широком производственном масштабе на Ульяновском канале - части Каршинской машинной системы, где в пределах холостой части (первые 63 км) вследствие сильнопроницаемых грунтов и низкого залегания грунтовых вод предполагались большие потери воды на фильтрацию - КПД менее 0,5. Осуществление кольматации и заиления ложа канала позволило на второй год после поступления в него наносов достичь КПД (среднего за год) 0,89 и ускорить ввод канала в эксплуатацию на год.

В условиях временной эксплуатации транзитного каскада Каршинских насосных станций исследованиями /1/ установлены следующие показатели роста КПД (табл. 1).

Таблица 1

Динамика коэффициента полезного действия Ульяновского канала за период 1973–1976 гг.

Год	Жидкий сток, млн.м³	Твердый сток, тыс.т	Средняя мутность, кг/м³	КПД при головном расходе 30 м³/с	
				к концу года	средний за год
1973	350	0	0	0,50	0,50
1974	450	120	0.27	0.85	0.70
1975	520	270	0.52	0,90	0,89
1976	662	520	0,78	0,92	0,905

Данные табл. 1 показывают, что в течение всего 1973 г., когда по условию эксплуатации Каршинской машинной системы наносы в Ульяновский канал не поступали, его КПД был близок к 0,5, т.е. к исходному показателю. По мере поступления наносов в канал КПД стал повышаться: к концу вегетации 1974 г. он достиг величины 0,85, а в 1976 – возрос до 0,92, т.е., по существу, с поступлением наносов к концу первого года коэффициент полезного действия Ульяновского канала достиг проектной величины. Такой характер роста КПД подтверждается опытом эксплуатации и других каналов Средней Азии, транспортирующих взвешенные наносы /2/: в первый год–два происходит резкое снижение потерь с последующей стабилизацией.

Для оценки экономической эффективности такого рода экранов рассмотрим основные положения их образования и эксплуатационные качества – срок службы и надежность.

Скорость фильтрации через такие экраны находится в пределах 0,12–0,17 м/сут /2/. Потери при этом составляют 0,1–0,2% от головного расхода на 1 км длины канала, что является предельным технологическим эффектом данного вида противофильтрационного мероприятия (этот показатель для

монолитной бетонной облицовки в соответствии с рекомендуемыми для нее значениями водопроницаемости /3/ составляет 0,085%, а для бетонно-пленочной, как показывают натурные исследования, [x] – 0,02%).

Для создания таких экранов необходимо обеспечить возможность регулирования режима твердого стока в зависимости от содержания и состава транспортируемых наносов. Необходимый эффект достигается при подаче в канал взвешенных наносов диаметром менее 0,05 мм в количестве 100 кг на 1 $м^2$ смоченной поверхности в год.

Срок службы указанных экранов, как и любых других, равен времени их эксплуатации до нарушения противофильтрационных свойств, которое может быть вызвано работами по очистке каналов от наносов, усадочными трещинами (в каналах периодического действия) и образованием сосредоточенных утечек в результате химической суффозии (при прохождении каналов через сильнозасоленные грунты).

Интенсивность заиления живого сечения каналов при поступлении в них твердого стока колеблется в широких пределах и зависит от конструкции оросительной сети и сооружений на ней, транспортирующей способности водного потока, а также от количества и состава поступающих в них наносов. Так, толщина ежегодных отложений наносов в Ульяновском машинном канале составляла в среднем 3,5 см, в машинной части Амубухарского канала – 1,5 см, в головной части Каршинского магистрального канала – 50–60 см. По условиям сохранения пропускной способности каналов и технологии их очистки земснарядами допустимые максимальные значения толщин заиления оросительной сети зависят от типоразмеров каналов /4/. Для Ульяновского канала, имеющего наполнение 3–4 м, ширину по дну 6 м и заложение откосов 3,5 , эти

[x] В.К.Тян, Р.М.Горбачев. Изучить фактическую величину КПД типичных оросительных систем, установить эффективность существующих способов повышения КПД и их приемлемость в условиях эксплуатации. Научно-технический отчет. Ташкент, САНИИРИ, 1978.

зования по периметру ложа канала слоя заиления – наилка. В период опорожнения канала или значительного снижения горизонтов воды в нем зона наилка покрывается сетью трещин, после поднятия горизонтов края их смыкаются или оплывают. Исследования, подтвержденные работой таких каналов, показывают, что при наличии наилка толщиной более 5 см в каналах с пологими откосами, транспортирующими взвесенесущий поток, процессы потери антифильтрационных свойств отстают от процессов восстановления этих свойств и такие покрытия отвечают предъявляемым к ним требованиям.

Изучение влияния образующихся в ложе канала очагов сосредоточенной фильтрации на эффективность экрана показало следующее [x]. В 1974 г. на Ульяновском канале суммарный расход через места сосредоточенной фильтрации составлял 1,0–2,0 м^3/с. По размерам воронкообразной входной части их можно разделить на мелкие, средние и крупные, последние составляют 1–2% от общего числа воронок. Ликвидация крупных воронок должна осуществляться заделкой их механическим путем, мелкие и средние "залечиваются" под действием поступающих в канал продуктов ветровой деятельности и осаждения наносов. В результате общее число очагов сосредоточенной фильтрации в 1976 г. сократилось по сравнению с 1974 г. на 90%.

Таким образом, заиление и кольматацию в условиях транспортирования по каналам взвешенных наносов следует рассматривать как самостоятельный вид мероприятий по борьбе с фильтрацией, отличающийся достаточно высокими эксплуатационными показателями и надежностью.

---

x) В.С. Хачикянц. Разработка технологии производства работ и изучение эффективности кольматажа на Ульяновском канале. Научно-технический отчет. Ташкент, САНИИРИ, 1976.

Экономическая оценка эффективности экранирования каналов указанным методом произведена путем соизмерения приведенных затрат по антифильтрационным вариантам:

$$\mathcal{E}K + U = min,$$

где $\mathcal{E}$ – коэффициент нормативной эффективности капитальных вложений, $\mathcal{E} = 0{,}15$;
K – капитальные вложения по вариантам;
U – ежегодные эксплуатационные затраты.

В условиях орошаемого земледелия исходными положениями экономического расчета являются:

выбор базисного - замыкающего варианта облицовки; в качестве такового принимается бетонная облицовка как вид противофильтрационной одежды, который апробирован на практике, отличается долговечностью и надежностью, в настоящее время, особенно в зонах нового орошения, является превалирующим и подтверждает закладываемые в проекте требования к его прочности и водопроницаемости;

учет срока службы экранов и время их осуществления;

учет совокупности затрат по водохозяйственной системе, обеспечивающих своевременность водоподачи в требуемом режиме до объекта рассматриваемых мероприятий.

В соответствии с этими положениями принимается следующая система технико-экономических оценок экранирования канала.

1. Дополнительные капитальные вложения K_{δ} в вариант с бетонной облицовкой при пропускной способности 65 м³/с оцениваются суммой 12,5 млн.руб. [x]; при расходе 30 м³/с $K_{\delta} = 9{,}20$ млн.руб. Амортизационные отчис-

---

x) Первая очередь орошения и освоения земель Каршинской степи УзССР, т. XII. Уточнение проекта в связи со строительством Ульяновского канала. Ташкент, ин-т "Средазгипроводхлопок", 1972.

ления α , учитывающие срок службы и полное восстановление, составляют 3,8% от капитальных вложений /5, шифр 20122/. Годовые затраты по бетонной облицовке определяются выражением

$$И^{о}_{б} = (E + \alpha) K_{б} = (0{,}15 + 0{,}038) \cdot 12{,}5 \cdot 10^{6} = 2{,}35 \text{ млн.руб.}$$

При площади облицовки канала $F_{б} = 2{,}7$ млн.м^2 (расход 65 м^3/с) приведенные затраты на 1 м^2 ее поверхности составят $\Delta И_{б} = 0{,}87$ руб./м^2 при удельных капиталовложениях в вариант с облицовкой $\Delta K_{б} = 4{,}6$ руб./м^2.

2. Дополнительные капитальные вложения в вариант экранирования канала методом кольматации и заиления на начальном этапе его эксплуатации при расходе 30 м^3/с определялись с учетом того, что для создания экрана была использована насыщенная наносами вода, подаваемая каскадом Каршинских насссных станций. В этот период каскад имел резерв пропускной способности, водные ресурсы Амударьи были не лимитированы и никаких специальных затрат по их организации не было. В связи с этим формирование капитальных вложений произошло за счет дополнительных временных прямых эксплуатационных затрат по каскаду Каршинских станций, соответствующих стоимости части объема воды, поднятой в Ульяновский канал на высоту 90 м и потерянной в нем на фильтрацию при сниженном (по сравнению с бетонным вариантом) КПД

$$K_{ГЭ} = \sum_{1}^{t} W (\eta_{б} - \eta_{э}) S = 350 \cdot 10^{6} \cdot 0{,}45 \cdot 0{,}0125 +$$

$$+ 450 \cdot 10^{6} \cdot 0{,}25 \cdot 0{,}0074 + 520 \cdot 10^{6} \cdot 0{,}06$$

$$0{,}006 + 662 \cdot 10^{6} \cdot 0{,}04 \cdot 0{,}005 = 3{,}12 \text{ млн.руб.}$$

где t – время кольматации;
W – объем водоподачи по годам;
$\eta_б$ – КПД базисного варианта, принят равным 0,95;
$\eta_э$ – КПД изменяющегося по годам рассматриваемого варианта;
S – стоимость 1 м^3 водоподачи, руб.; принята по данным ежегодных отчетов управления "Каршистрой".

Кроме того, на научно-исследовательские работы было затрачено $K_{эд}$ = 0,035 млн.руб. Сумма затрат, формирующих капитальные вложения в данный вид экрана Ульяновской ветки, составила $\Sigma K_э$ = 3,15 млн.руб. Амортизационные отчисления от капитальных вложений /5/ для таких каналов $\alpha_э$ = 3,8%, а приведенные затраты

$$U_э^0 = (\varepsilon + \alpha)\Sigma K_э = (0{,}15+0{,}038)\cdot 3{,}25\cdot 10^6 = 0{,}61 \text{ млн.руб.}$$

Удельные приведенные затраты при расчетной площади экрана, созданного кольматацией $F_э$ = 2,2 млн.м^2, составят $\Delta U_э^0$ = 0,28 руб./м^2 при удельных капитальных вложениях $\Delta K_э$ = 1,48 руб./м^2.

Сопоставляя рассматриваемый и базисный антифильтрационные варианты, получаем эффект по приведенным годовым затратам:

$$Э_{30} = \Delta U_б^0 \cdot F_б' - \Delta U_э^0 \cdot F_э = 0{,}87\cdot 2\cdot 10^6 - 0{,}28\cdot 2{,}2\cdot 10^6 =$$

$=1{,}12$ млн.руб.

($F_б'$ – расчетная площадь бетонной облицовки при пропускной способности канала 30 м^3/с)

при экономии капитальных вложений

$$K_{30} = \Delta K_б \cdot F_б' - \Delta K_э \cdot F_э = 4{,}6\cdot 2\cdot 10^6 - 1{,}48\cdot 2{,}2\cdot 10^6 =$$

5,9 млн.руб.

Кроме того, ввод Ульяновского канала на год раньше планируемого срока при базисном варианте за счет применения метода кольматации и заиления дал дополнительный эффект, равный

$$\Delta Э = E(K_б - K_э) = 0{,}15(9{,}2 - 3{,}25) = 0{,}89 \text{ млн.руб.}$$

Если полученные денежные средства направить на погашение затрат, формирующих капитальные вложения в экранирование Ульяновского канала методом кольматации, можно получить дополнительный эффект в системе оценки по приведенным затратам

$$\Delta Э_{30} = E \cdot \Delta Э = 0{,}15 \cdot 0{,}89 \cdot 10^6 = 0{,}13 \text{ млн.руб.}$$

т.е. в итоге эффект по приведенным затратам составит

$$Э'_{30} = Э_{30} + \Delta Э_{30} = 1{,}12 + 0{,}13 = 1{,}25 \text{ млн.руб.}$$

при экономии государственных капитальных вложений

$$K'_{30} = K_{30} + \Delta Э = 5{,}9 + 0{,}89 = 6{,}8 \text{ млн.руб.}$$

К этому следует добавить, что экономические показатели варианта кольматации на Ульяновском канале могли быть выше при исключении организационных причин, в результате которых мутная вода в канал была подана только на второй год. При поступлении наносов в канал в первый год его эксплуатации, что является, как отмечалось выше, одним из главных условий, экономические показатели были бы следующие (табл. 2).

Такова эффективность кольматации Ульяновского машинного канала при высоте водоподъема 90 м на уровне водохозяйственной обстановки 1976 г.

Но допустим, что данный объект выдвинут к строительству на уровне 1990 г., когда интенсивное использование собственных водных ресурсов приведет к предельному их ре-

Таблица 2

Экономические показатели Ульяновского канала за период 1974–1976 гг.

Показатели		Един. изм.	Величина
Наименование	Обозначения		
Капитальные вложения	$K_э$	млн.руб	1,28
Приведенные затраты	$И_э^o$	"	0,24
Удельные приведенные затраты	$И_э^o$	руб/м^2	0,11
Удельные капитальные вложения	$K_э$	"	0,58
Эффект по приведенным годовым затратам	$Э_{30}$	млн.руб	1,5
Экономия капитальных вложений	K_{30}	"	7,92
Эффект за досрочный ввод	$\Delta Э$	"	1,19
Дополнительный эффект	$\Delta Э_{30}$	"	0,18
Итоговый эффект по приведенным затратам	$Э'_{30}$	"	1,68
Экономия капитальных вложений	K'_{30}	"	9,1

гулированию и исчерпанию и дальнейшее развитие орошения возможно только за счет переброски части стока сибирских рек.

В этом случае к затратам по подаче воды каскадом Каршинских насосных станций необходимо добавить затраты по регулированию водных ресурсов и переброске части стока

значения составляют 0,6–0,9 м. Ориентируясь на приведенные данные интенсивности и допустимые значения толщины заиления, получим, что необходимость первой очистки Ульяновского канала возникнет не ранее, чем через 20 лет.

На каналах, проходящих в зонах, подверженных ветровой эрозии, необходимо учитывать явление их заноса грунтом с прилегающих территорий. На Ульяновском канале, на участках прохождения его через барханные пески, ежегодный объем заносов песком составил в среднем 2,0 м³ на 1 м его длины; по результатам исследований наносного режима Каршинского магистрального канала [x] прогнозируется величина среднемноголетних заносов для песчаных участков 2,3 м³ на 1 м'. Объемы эти сопоставимы с объемами заиления наносами и повышают суммарную величину ежегодных отложений на песчаных участках, к примеру, на Ульяновском канале до 7,5 см. В результате расчетный срок эксплуатации канала до первой очистки на таких участках определится в 8–10 лет. Протяженность песчаных участков, судя по Ульяновскому, Амубухарскому, Каракумскому каналам, не превышает 50% их длины. С учетом этого периодичность очистки машинных каналов, где в качестве противофильтрационных элементов запроектированы кольматация и заиление их ложа, может быть принята кратной 15 годам. Фактические данные показывают, что Ульяновский канал работает без очистки уже 7 лет, Амубухарский – 8 лет (с 1964 г. до начала работ по его расширению).

Исследования в лабораторных условиях и на Ульяновском канале /1/ показали, что основной эффект в снижении фильтрации произошел, наряду с кольматацией, в результате обра-

---

x) И.А. Горев, Э.Р. Речицкая. Исследование наносного режима Каршинского магистрального канала. Научно-технический отчет. Ташкент, САНИИРИ, 1976.

сибирских рек. Экономические расчеты, проведенные в отделе водохозяйственных проблем САНИИРИ [x], устанавливают, что на уровне 1990 г. по приведенным затратам стоимость 1 м^3 дополнительно зарегулированного стока оценивается в 1,6 коп./м^3, а переброска части стока сибирских рек – 4 коп./м^3. Путем расчетов, аналогичных приведенному выше, установлено, что эффективность метода кольматации в условиях интенсивного роста использования водных ресурсов снижается и при удельных затратах по организации водных ресурсов и водоподаче, составляющих 2,8 и 5,4 коп./м^3 (вторая цифра – поступление наносов в канал в первый год его эксплуатации), более эффективна бетонная облицовка.

Литература

1. Хачикянц В.С. К вопросу об использовании взвешенных наносов в каналах для снижения фильтрации. Сб.научных трудов, вып. 157, Ташкент. САНИИРИ, 1978.
2. Бочарин А.В. Расчет фильтрационных потерь из каналов с учетом их естественной кольматации. Экспресс-информация, серия 5, вып. 7, Водохозяйственное строительство, М., ЦБНТИ, 1974.
3. Руководство по проектированию магистральных и межхозяйственных каналов оросительных систем, ВТР-П-7-75. М., 1975.
4. Методика разработки нормативов годовых загрузок и пот-

---

x) С.А. Полинов. Разработать прогноз комплексного освоения природных ресурсов, обосновать принципы и проблемы развития производительных сил отдельных регионов страны на период 1981-1990 гг. и 1991-2000 гг. (Средней Азии). Научно-технический отчет, Ташкент, САНИИРИ, 1977.

ребности в машинах для выполнения ремонтно-строительных работ на гидромелиоративных системах. М., 1976.
5. Нормы амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства. М., Госплан СССР, 1974.

А.А. КАДЫРОВ, канд.техн.наук
И.А. БУЗУНОВ, доцент

(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА НЕРАЗМЫВАЮЩИХ СКОРОСТЕЙ

Вопрос расчета допустимых предельно неразмывающих скоростей даже для случаев несвязных грунтов сравнительно однородного состава в настоящее время нельзя еще считать полностью решенным. Рекомендуемые нормами, наиболее полно охватывающие определяющие факторы расчетные формулы Ц.Е. Мирцхулава /1/ имеют область применения, ограниченную расходами воды $Q < 50$ м^3/с и глубинами $H < 3$ м. Кроме того, входящие в них поправочные коэффициенты на условия работы, мутность воды и другие факторы учитываются на основе словесной оценки, что не может не вносить в получаемые расчеты некоторую долю субъективизма.

В связи со сказанным, в нашей стране и за рубежом ученые все еще продолжают заниматься исследованиями и разработкой новых "уточненных" формул для расчета допустимых скоростей. Значительная часть этих работ связана с

начатыми проектными проработками по схеме переброски части стока сибирских рек в Среднюю Азию. Предусматриваемые этой схемой уникальные размеры главного канала переброски, рассчитываемого на расход 1000 м³/с и более, а также наличие на значительной длине выбранной трассы легкоразмываемых песчаных грунтов выявляют актуальность проблемы неразмывающих скоростей.

Нами сделана попытка объяснить причину наличия отмеченного большого количества формул для определения допустимой скорости и тех расхождений, которые наблюдаются при их применении для расчетных условий, существенно отличающихся от условий экспериментов и натуры, по данным которых они получены.

А.А. Кадыров на основе разработанной им /2/ структурной модели равномерного турбулентного потока и исходя из условия устойчивости типа "коэффициент Лохтина" получил следующую формулу для определения неразмывающей скорости:

$$V_н = k_н \left(\frac{1}{\sqrt{\lambda}}\right)^{0,5} \sqrt{gd}, \qquad (1)$$

где $k_н$ – некоторый опытный коэффициент;

λ – коэффициент гидравлического трения.

Зависимость неразмывающей скорости от гидравлического сопротивления русла подтверждается исследованиями В.С. Алтунина /3/, а также В.А. Скрыльникова и Т.Ю. Губиной /4/. Последние рекомендуют определять неразмывающую скорость по формуле

$$V_н = \frac{\sqrt{\varphi}}{n} h^y d^{0,5}, \qquad (2)$$

принимая значения входящих в нее параметра продольной устойчивости φ = 0,13 и коэффициента шероховатости

$n = 0{,}014$.

Для определения значений коэффициента $k_н$ и величины $1/\sqrt{\lambda}$ нами использованы экспериментальные и натурные данные, общая характеристика которых приведена в табл. 1. Указанные данные охватывают диапазон скоростей, фиксированных как неразмывающие (лабораторные опыты) или "условно неразмывающие" (так как сведения о русловых процессах в створе натурных измерений отсутствуют) в пределах 0,15÷2,94 м/с при средних диаметрах наносов d от 0,00017 до 0,023 м и средних глубинах потока h от 0,005 до 22,3 м. Относительная шероховатость русла h/d, число Рейнольдса R_e и значения числа Фруда изменяются в широких пределах, охватывающих случаи открытых потоков с достаточной полнотой. В процессе обработки использованных данных с помощью ЭВМ были вычислены отношения h/d и d/hi, а также значения коэффициентов Шези: $C=\frac{V}{\sqrt{hi}}$; $\frac{1}{\sqrt{\lambda}}=\frac{C}{\sqrt{2g}}$ и $k_н$ согласно (1).

По результатам указанных вычислений построены следующие графические зависимости:

коэффициента гидравлического трения в форме $1/\sqrt{\lambda}$ от отношения h/d в полулогарифмических (рис. 1) и логарифмических (рис. 2) координатах;

коэффициента $k_н$ от отношения d/hi (рис. 3);

коэффициента $k_н$ от коэффициента гидравлического трения $1/\sqrt{\lambda}$ в логарифмических координатах (рис. 4).

Рассматривая эти зависимости, можно отметить, что на графиках, построенных в логарифмических координатах (рис. 2) и (рис. 4), экспериментальные и натурные точки хорошо группируются около прямых линий, что свидетельствует о применимости степенных функций для описания отыскиваемых связей.

Статистическая обработка методом прямолинейной корреляции 77 экспериментальных и натурных точек, включающих данные, указанные в табл. 1 под номерами 1, 3, 7, 8, 9, и 10 привела к следующим выражениям:

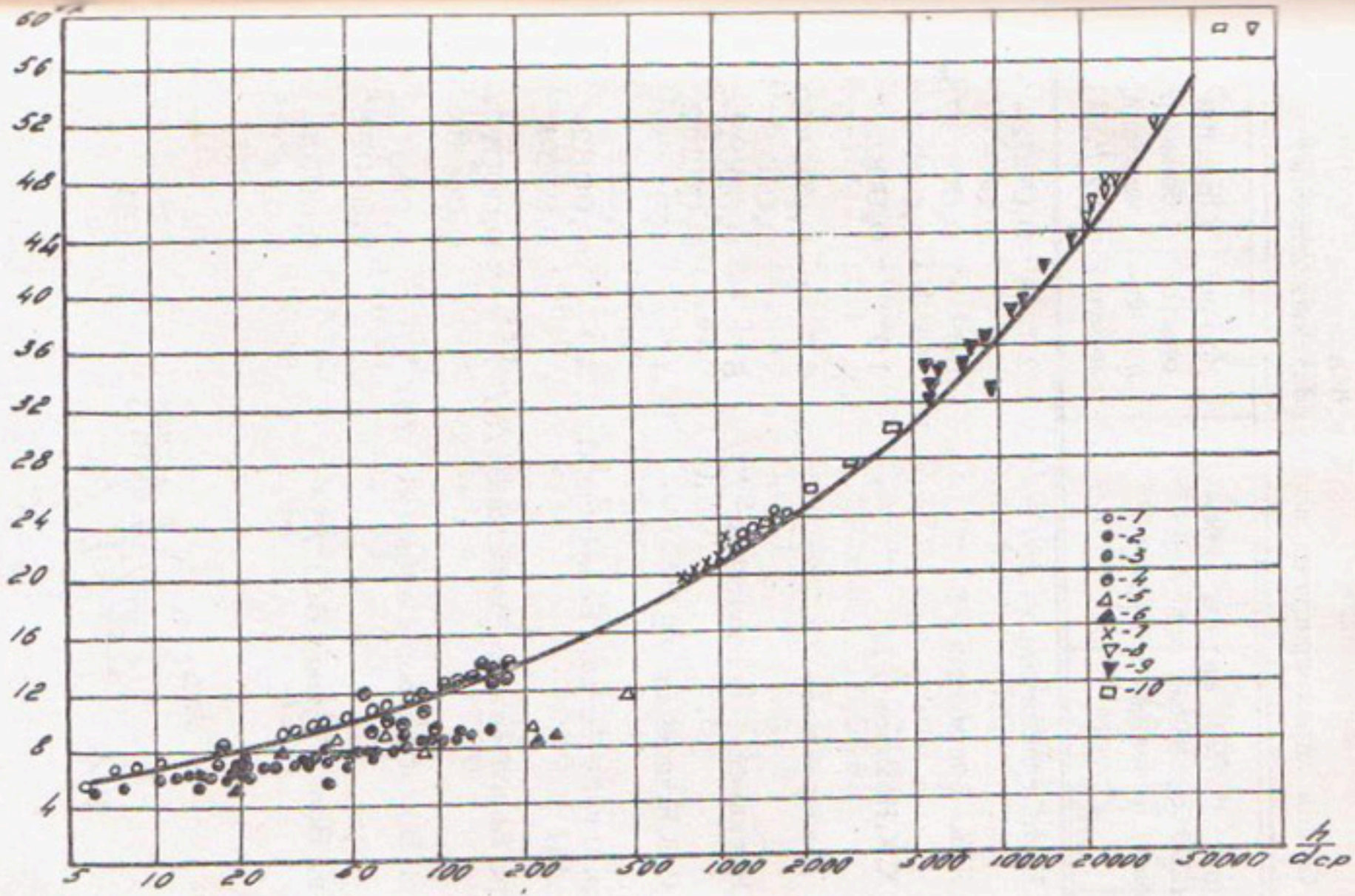


Рис. 1. Кривая $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = f\left(\frac{h}{d_{ср}}\right)$ в полулогарифмических координатах, по данным исследований различных авторов: 1 – Студеничникова; 2 – Бодряшкина; 3 – Исхакова; 4 – Мейера-Петера; 5 – Нанкинской лаборатории; 6 – Егиазарова; 7 – р. Ангара: створ Балаческий; р. Волга: 8 – створ Волжский; 9 – створ Вязовский; 10 – створ 60.

Таблица 1

Общая характеристика использованных опытных и

Номера п/п опытных данных	Ф.И.О. автора лабораторных опытов; название натурного объекта	Кол-во опытов или измерений	Средний диаметр наносов, (d), м
1	Б.И.Студеничников /5/	23	0,0002-0,008
2	Я.В. Бодряшкин /6/	50	0,000375-0,0015
3	Х.Х.Исхаков /7/	15	0,00023
4	Мейер-Петер /7/	6	0,00168-0,0038
5	Нанкинская лаборатория /7/	5	0,00019-0,00242
6	И.В.Егиазаров /8/	4	0,0115-0,023
7	р.Ангара (створ Балаческий) /5/	10	0,0082-0,0134
8	р. Волга (створ Волжский) /5/	7	0,00017-0,00065
9	р. Волга (створ Вязовский) /5/	15	0,00041-0,00098
10	р. Волга (створ 60) /5/	7	0,0003-0,014

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 3{,}80\left(\frac{h}{d}\right)^{0{,}248} \qquad (3)$$

Продолжение

натурных данных

Средняя глубина воды (h), м	$\frac{h}{d}$	Средняя скорость течения, (V), м/с	Число Рейнольдса $\left(R_e = \frac{Vh}{\nu} 10^4, \nu = 0{,}014\right)$	Число Фруда $\left(Fr = \frac{V^2}{gh}\right)$
0,044–	5,5–	0,259–	1,08–	0,0294–
0,848	1740	0,614	7,9	0,560
0,005–	6,66–	0,15–	0,06–	0,0883–
0,056	109,3	0,27	0,88	1,19
0,025–	109–	0,174–	0,316–	0,097–
0,0400	174	0,197	0,558	0,125
0,148–	6,68–	0,495–	5,24–	0,0127–
0,313	16,23	0,071	13,08	0,220
0,089–	8,92–	0,227–	1,48–	0,059–
0,107	13,48	0,502	3,84	0,24
0,6457–	19,2–	0,0454–	680–	0,01–
0,520	253,0	0,520	430	2,4
8,7–	761,19–	1,87–	1260–	0,038–
11,10	146,3	2,13	1550	0,045
11,2–	21311–	0,843–	733–	0,0078–
118,5	77059	1,338	1770	0,00985
5,0–	5612–	0,840–	357–	0,00875–
10,5	14634	1,063	800	0,0205
19,0–	1357–	0,95–	1360–	0,00085–
22,3	63333	2,94	4280	0,432

и

$$k_н = 0{,}3125 \left(\frac{1}{\sqrt{\lambda}}\right)^{0{,}495}. \qquad (4)$$

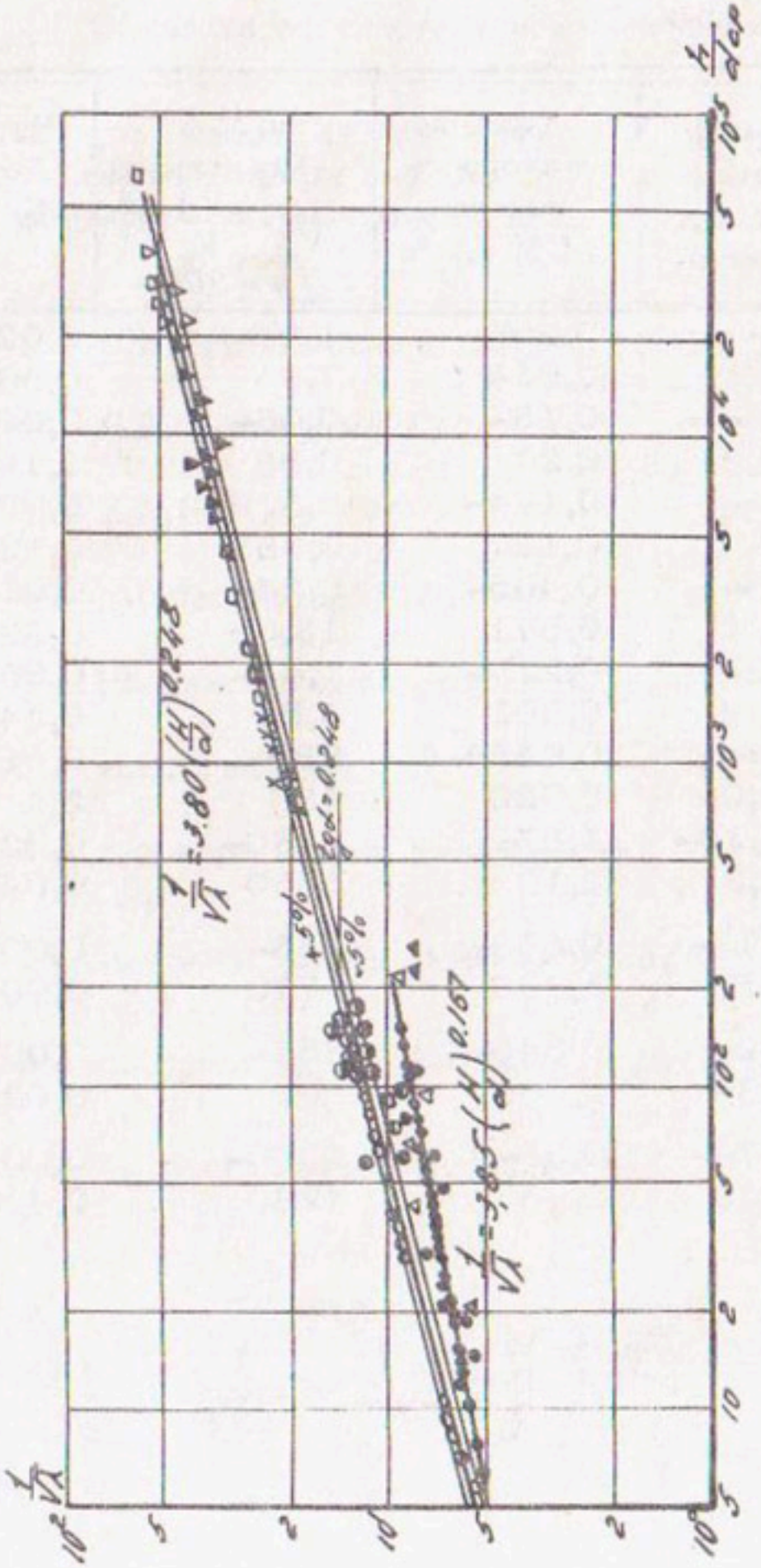


Рис. 2. Кривая $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = f\left(\frac{h'}{d}\right)$ в логарифмических координатах.

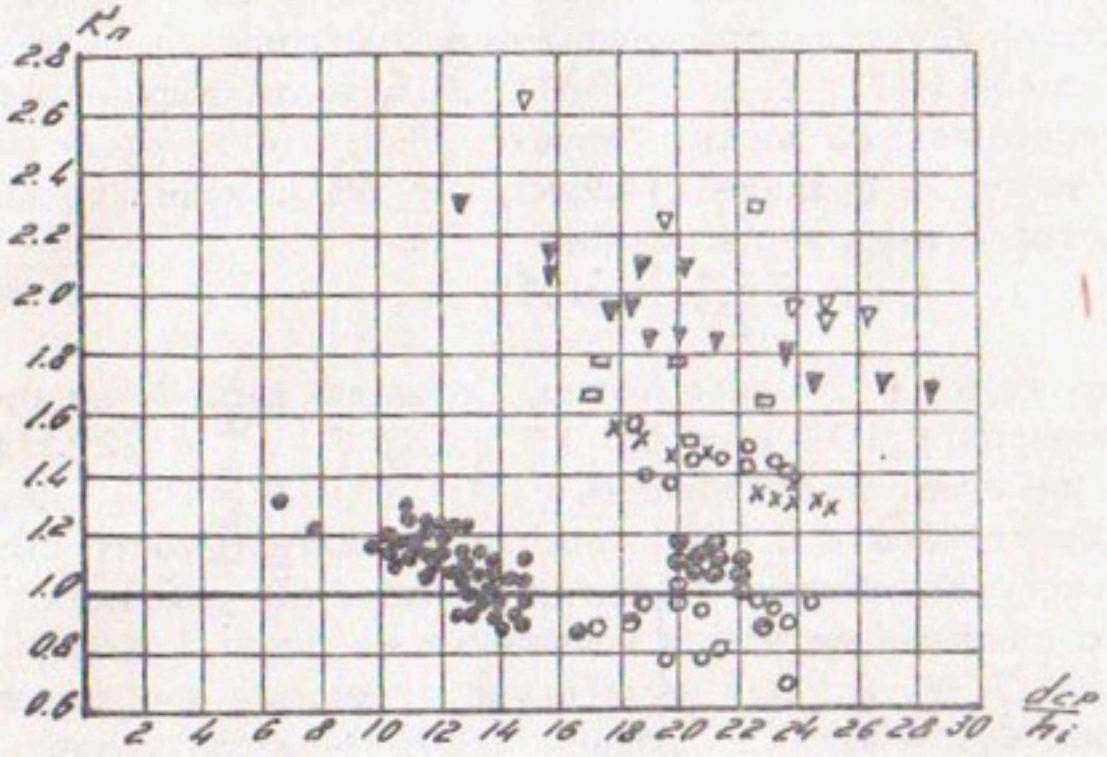


Рис. 3. Опытный коэффициент, зависящий от устойчивости (продольной) частиц.

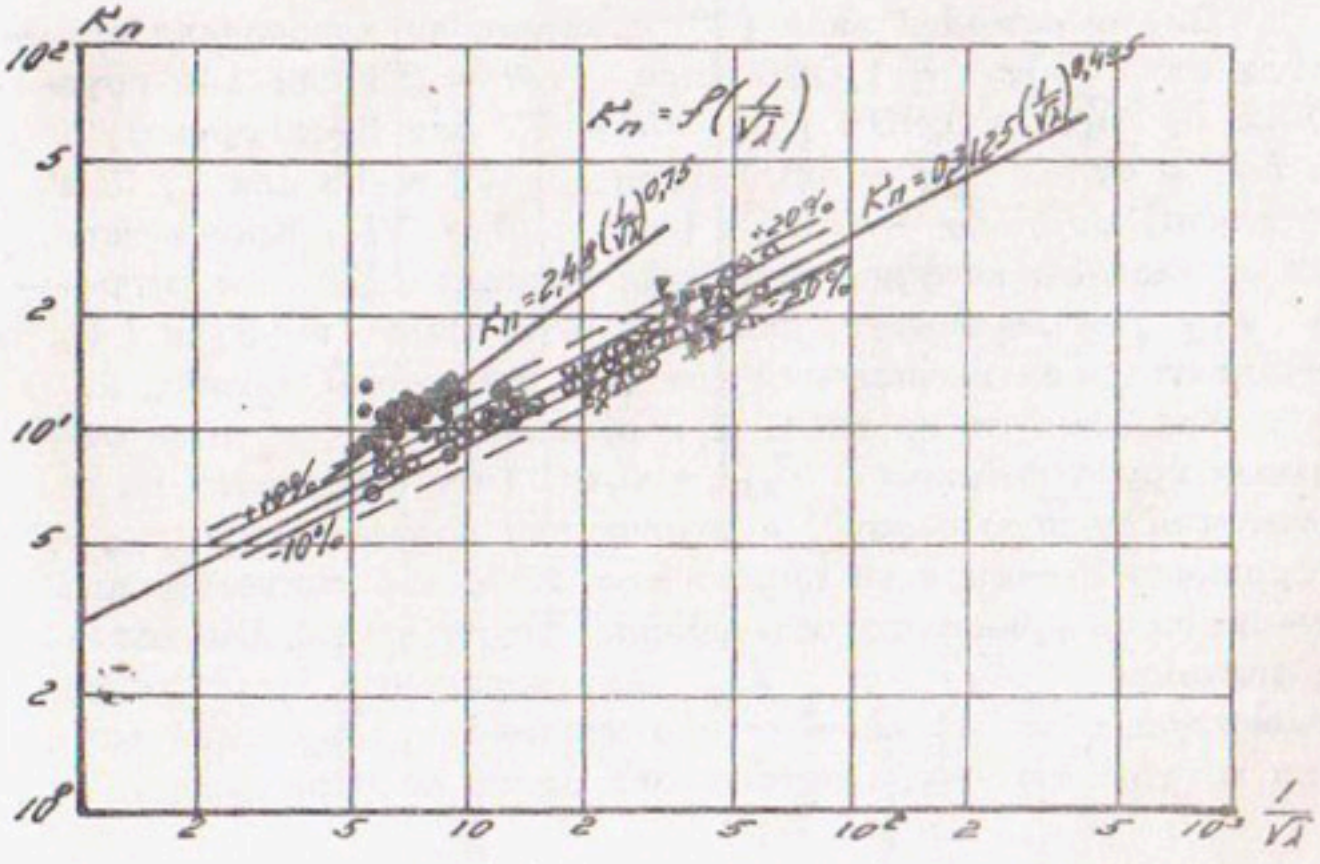


Рис. 4. Кривая $K_п = f\left(\frac{1}{\sqrt{\lambda}}\right)$ в логарифмических координатах.

При этом теснота связи выражения (3) в логарифмической форме характеризуется коэффициентом корреляции r_{yx} = 0,994, а связи (4) r_{yx} = 0,918. Точность выражения (3), согласно рис. 2, характеризуется тем, что из общего числа 77 точек за пределы отклонений ± 5% выходит только 3, что соответствует вероятности

$$P = \frac{3 \times 100}{77} \approx 4\%.$$

Выражение (4) менее точно. Согласно рис. 4, за пределы отклонений ± 10% выходит 17 точек (P = 22%) и 2 точки – за пределы отклонений ± 20% (P = 3%). Для большей объективности с целью выяснения допустимости объединения экспериментальных данных, полученных в лотках (1 и 3), с данными натурных измерений на реках (см. табл. 1, №№ 7, 8, 9, 10) нами были вычислены корреляционные функции $r_{yx} = f(m)$, где m – число точек, вводимых в расчет. При этом значения $1/\sqrt{\lambda}$ · вычислялись для групп точек, указанных в табл. 1 под номерами 1, 3, 7, 8, 9, 10, вводимых в расчет в последовательности увеличения отношения h/d.

Для выражения вида (3) коэффициент корреляции изменяется от r_{yx} = 1,006 (при m = 23 для 1-й группы) до r_{yx} = 0,994 (m = 77 для 5-ти групп); для (4) – от r_{yx} = 1,01 (при m = 48 для 1; 7 и 9-й групп) до r_{yx} = 0,918 (при m = 77). Кроме того, были вычислены коэффициенты корреляции r_{yx} и регрессии ρ_{yx} , определяюшие показатель степени в (3) и (4). Результаты этих вычислений для (3) приведены в табл. 2.

Как следует из табл. 2, коэффициенты корреляции отдельных групп не ниже r_{yx} = 0,80 (что указывает на достаточно тесную связь), а отклонения коэффициента ρ_{yx} от среднего значения не превышают 15%, что подтверждает приемлемость принятого объединения групп точек. Вычисления значений r_{yx} и ρ_{yx} для отдельных групп точек применительно к (4) дали низкие значения r_{yx} для всех групп натурных точек. Поэтому они здесь не приводятся.

Таблица 2

Значения γ_{yx} и ρ_{yx} для отдельных групп точек

Показатель	Номера групп согласно таблице 1						Для совокупности групп опытных данных
	1	3	7	8	9	10	1, 3, 7, 8, 9, 10
Число точек	23	15	10	7	15	7	77
Коэффициент корреляции	1,015	0,995	0,860	1,00	0,82	0,80	0,994
Коэффициент регрессии	0,249	0,237	0,254	0,251	0,214	0,215	0,248

Отметим, что выражая поправочный коэффициент $k_н$ через коэффициент сопротивления в форме $1/\sqrt{\lambda}$, мы исходим из предположения, что любые отклонения русловых форм от расчетного, в том числе замена реального пространственного потока условным прямоугольным $B_у \cdot h_{ср}$ и изменение макро- и микрошероховатости и т.д. должны искажать осредненное по времени скоростное поле потока, что равносильно допущению о соответственном изменении при этом величины силы трения между потоком и руслом. Последнее можно отразить через коэффициент трения.

Из графика (рис. 3) видно, что для плоских потоков со статически устойчивым руслом (дном) численное значение $k_н$ по (1) приближается к единице, а для потоков, отличающихся от строго плоского или с движением донных наносов в виде гряд значение его более единицы, так как данные лабораторных опытов разных авторов расположились вокруг горизонтальной прямой при $k_н = 1{,}0$, а натурные данные значительно выше.

Обращает на себя внимание еще следующий факт. Данные одних авторов целиком расположились ниже указанной прямой, других – выше, а третьих в разброс, вокруг нее. Это говорит о том, что установление момента трогания частиц в опытах, предопределяющее численную величину размывающей скорости, носит явно выраженный субъективный характер, не опирается на объективные критерии.

Подстановка выражений $k_н = f(\lambda)$ и $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = F\left(\frac{h}{d}\right)$ согласно (4) и (3) в (1) приводит к формуле

$$V_н = 1{,}185\sqrt{g}\, h^{0{,}247} \cdot d^{0{,}253} = 3{,}71\, h^{0{,}247} \cdot d^{0{,}253} \quad (5)$$

По структуре эта формула очень близка к формулам, предложенным ранее Б.И. Студеничниковым /5/, В.Ф. Талмаза /9/, Л.М. Мухамедовым и др. /10/ и А.А. Тумановым /11/ и

Э.В. Костюченко /12/, имеющим общее выражение

$$V_н = k\,(h \cdot d)^{0,25} \qquad (5\,а)$$

и различающимся лишь значениями коэффициента k, которые изменяются от $k = 4,45$ (у Костюченко) до $k = 2,90$ (у Туманова). Среднее значение коэффициента k между указанными пределами $k_{ср} = 3,68$ весьма близко к значению коэффициента в (5), а средняя величина из значений пяти коэффициентов, рекомендуемых указанными авторами, равна 3,71, т.е. точно совпадает с (5).

Как следует из рис. 1 и 2, опытные точки 2-й группы в табл. 1 хорошо группируются вокруг самостоятельной кривой (прямая на рис. 2), которую на основе графического определения параметров, согласно рис. 2, можно выразить уравнением

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 3,85 \left(\frac{h}{d}\right)^{0,167}. \qquad (6)$$

На рис. 4 эти точки расположились с большим разбросом. Грубое графическое осреднение приводит к выражению

$$k_н = 0,248 \left(\frac{1}{\sqrt{\lambda}}\right)^{0,75}. \qquad (7)$$

Подстановка (6) и (7) в (1) дает

$$V_н = 1,34 \left(\frac{h}{d}\right)^{0,208} \sqrt{qd} = 4,2 \left(\frac{h}{d}\right)^{0,208} \cdot \sqrt{d}. \qquad (8)$$

Эта формула близка по структуре к формулам А.М.Латышенкова /13/, Р.Р.Абдураупова /21/, Л.И.Кумина /14/, а также является частным выражением формул В.Н.Гончарова /15/ и И.И.Леви /16/, которые имеют общий вид

$$V_н = k\left(\frac{h}{d}\right)^{\frac{1}{5}}\sqrt{d}\,. \qquad (9)$$

Коэффициент k в указанных формулах изменяется от $k = 3{,}9$ (Кумин, Гончаров) до $k = 5{,}33$ (Леви), что дает в среднем $k = 4{,}62$. Если, учитывая большой разброс точек, вместо выражения (7) принять по аналогии с (4)

$$k_н = k_o\left(\frac{1}{\sqrt{\lambda}}\right)^{0{,}5}, \qquad (10)$$

то подстановка (6) и (10) в (1) дает

$$V_н = k_o'\left(\frac{h}{d}\right)^{\frac{1}{6}}\sqrt{d}\,. \qquad (11)$$

Формулу подобной структуры с коэффициентом k_o' от 4,6 до 5,7 предлагают Г.И.Шамов /17/, И.К.Никитин /18/, Я.В.Бодряшкин /6/, М.А.Мостков /19/.

Таким образом, анализ закономерностей изменения

$$k_н = f\left(\frac{1}{\sqrt{\lambda}}\right) \quad и \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = f\left(\frac{h}{d}\right),$$

входящих в формулу (1), позволяет считать, что многообразие существующих формул для определения неразмывающей скорости обусловлено неоднозначностью указанных закономерностей, отражающих, по-видимому, индивидуальные или региональные особенности грунтов, слагающих русло рек и каналов, и их состава (прежде всего, вероятно, формы частиц донных наносов). В частности, формулы "логарифмического вида"

$$V_н = k_o \cdot \lg\left(\frac{\alpha h}{d}\right)\sqrt{gd}, \qquad (12)$$

предлагаемые В.Н.Гончаровым /15/. И.И.Леви /16/, В.С.Кнорозом /20/, Ц.Е.Мирцхулава /1/ и другими, отвечают логарифмическому закону гидравлических сопротивлений, установленному экспериментально А.П. Зегжда, И.К.Никитиным, А.Ю.Умаровым и другими исследователями для случая закрепленной (наклеенной) шероховатости.

В заключение отметим, что в процессе обработки данных натурных измерений по рекам Волга и Ангара мы не располагали достаточными сведениями относительно русловых процессов в районе выбранных гидрометрических створов. Как правило, такие створы выбирались на прямолинейных участках рек, где берега на урезе воды не деформируются. Однако движение влекомых (донных) наносов в виде гряд или рифелей не исключается. Часто повторяющиеся паводковые (руслоформирующие) расходы протекают ниже бровки русла. Вопрос о форме русла на таких участках, характеризующие их морфометрические связи, в частности, использование этих сведений при расчете крупных каналов в размываемых руслах - предмет оживленных дискуссий. Это обусловлено тем, что все еще крайне недостаточны надежные натурные измерения, осуществляемые в крупных каналах. Так как обычно все существующие каналы по своим параметрам значительно ниже главного канала переброски, вопрос экстраполяции обработанных данных на условия проектируемого канала не снимается и в будущем. В этих условиях ориентация в вопросе неразмывающих скоростей на измерения, осуществленные на устойчивых участках рек, независимо от предистории их формирования, является, на наш взгляд, более обоснованной, чем разработка произвольных методов экстраполяции, не подлежащих проверке соответствующими натурными данными по каналам. Обрабатывая данные натурных измерений по крупным рекам, наряду с лабораторными данными и измерениями по некоторым каналам, мы исходим из следующих предположений и допущений.

Средняя скорость речного потока в аллювиальном русле, соответствующая Q_p и B_y, в первом приближении может быть принята как неразмывающая. Поскольку движение донных наносов в большинстве случаев не исключается, то фиксированная таким образом скорость, по-видимому, численно ближе к размывающему. Другими словами, обрабатывая такие данные следует помнить, что конечные результаты в виде расчетных значений неразмывающей скорости в зависимости от d и h могут оказаться несколько завышенными.

Четко выраженная закономерность при расположении натурных точек на графике $1/\sqrt{\lambda} = f\left(\frac{h}{d}\right)$, их хорошая корреляция могут дать объективную информацию о правомерности произведенных построений и принятых допущений. По мере накопления числа натурных измерений в крупных каналах графики связи между различными гидравлическими характеристиками системы "поток-русло" будут уточнены, что позволит получить достаточно объективную оценку правильности произведенных построений.

Выводы

Многообразие выведенных и отраженных в литературе формул для определения допустимой неразмывающей скорости и особенно различие в их структуре может быть объяснено неоднозначностью закономерности изменения коэффициентов гидравлического сопротивления λ и $k_н$, входящих в формулу (1), которые, видимо, должны отражать местные особенности грунта ложа и состава наносов, с одной стороны, и взаимодействие ложа и потока, формирующего в итоге осредненное скоростное поле потока – с другой, что подробно отражено в работе /3/.

Использование существующих формул для определения неразмывающей скорости без обоснованной связи их с коэффициентом сопротивления λ или шероховатостью русла следует считать недопустимым.

Необходимо продолжить исследования по уточнению формул неразмывающей скорости с использованием возможно большего количества натурных данных, особенно по крупным каналам, работающим в режиме предельных неразмываемых скоростей.

Литература

1. Мирцхулава Ц.Е. Указания по определению допускаемых (неразмывающих) скоростей водного потока для связных грунтов, изд. Министерства сельского хозяйства СССР, М., 1962.
2. Кадыров А.А. Сб. материалов по итогам научно-исследовательских работ строительного факультета, ТашПИ, вып. 92, 1972.
3. Алтунин В.С. Мелиоративные каналы в земляных руслах, М., "Колос", 1979.
4. Скрыльников В.А., Губина Т.Ю. Расчет устойчивых гидравлических элементов больших каналов в несвязных грунтах. Известия АН УзССР, серия техн.наук № 3, 1978.
5. Студеничников Б.И. Допускаемые неразмывающие скорости и русловые расчеты водосбросных сооружений гидроузлов. М.,ВОДГЕО, 1958.
6. Бодряшкин Я.В. Сопоставление имеющихся формул для величины силы влечения и уклона при начале размыва с результатами лабораторных исследований. Тр. ТИИИМСХ, вып. 8, 1957.

7. Исхаков Х.Х. Результаты экспериментальных исследований допустимой неразмывающей скорости в несвязных грунтах. Сб. "Гидротехника и мелиорация в условиях Узбекистана", ТИИИМСХ, 1977.
8. Егиазаров И.В. Обобщенное уравнение транспорта несвязных наносов, коэффициент сопротивления размывающего русла и неразмывающая скорость. Тр. Ш Всесоюзного гидрологического съезда, т. У, Л., 1960.
9. Талмаза В.Ф., Крошкин А.Н. Гидроморфологические характеристики горных рек. Фрунзе, "Кыргызстан", 1968.
10. Мухамедов А.М., Ирмухамедов Х.А., Каюмов О.К. К вопросу оценки размывающей способности руслового потока. Тр. САНИИРИ, вып. 117, 1968.
11. Туманов А.А. Некоторые вопросы формирования местного размыва при обтекании преград. Тр. САНИИРИ, вып. 120, Ташкент, 1970.
12. Артамонов К.Ф. Регулировочные сооружения при водозаборе на реках в предгорных районах, Фрунзе, АН Киргизской ССР, 1963.
13. Латышенков А.М. Вопросы гидравлики искусственно сжатых русл. Госиздат. Лит. по строит., архитектуре и стройматериалам, М., 1960.
14. Кумин Д.И. Гидравлический расчет крепления в нижнем бьефе водосбросов, Л., Госэнергоиздат, 1955.
15. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков, Л., Гидрометеоиздат, 1962.
16. Леви И.И. Динамика русловых потоков, М.-Л., Госэнергоиздат, 1957.
17. Шамов Т.И. Речные наносы, Л., Гидрометеоиздат, 1954.
18. Никитин И.К. Турбулентный русловой поток и процессы в придонной области, АН УССР, 1963.

19. Мостков М.А. Очерк теории руслового потока. М., АН СССР, 1959.
20. Кнороз В.С. Неразмывающая скорость для несвязных грунтов и факторы, ее определяющие. М., "Известия ВНИИГ", т. 59, 1958.
21. Мухамедов А.М., Абдурауппов Р.Р. и Нуритдинов З.Н. Выбор формулы неразмываемой скорости для амударьинского песка. Труды САНИИРИ, вып. 135, Ташкент, 1972.

Х.А. ИРМУХАМЕДОВ, канд.техн.наук
М.М. КУЧКАРОВ, инженер

(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСТЕКАНИЯ ПОТОКА У БЕРЕГОВОГО КРЕПЛЕНИЯ

В настоящее время существует ряд расчетных формул, позволяющих определить максимальную глубину размыва у крепления /1, 2, 3/. В указанных работах схема размыва была принята визуально без измерения скоростной структуры потока в воронке размыва. Так, И.А. Бузунов /1/ глубину размыва для предгорных участков рек с учетом отмостки воронок размыва крупным камнем рассматривает как случай удара струи о твердую преграду и считает, что поток растекает по поверхности крепления, почти не изменяя свои скоростные значения.

Аналогичная схема принята С.Х. Абальянцем /2/, из которой видно, что поток с определенными глубинами остается таким до встречи с вертикальным креплением, затем, опускаясь вдоль него, он расширяется и отходит, размывая дно с углом, под которым встречался с креплением.

К.Х. Имамутдинов /3/, использовав расчетные зависимости Х.А. Ирмухамедова /4/, установил величины погонных расходов и глубину опускающейся струи вдоль напорного откоса у асфальтобетонных тюфяков и предложил определять их глубину в виде $h_2 = 0{,}75\,h$, а расход – в виде $q_2 = 0{,}56\,q_1$.

Как видим, в принятых схемах растеканию потока в воронке размыва и их характеристикам не уделено должного внимания. Для полного понимания механизма турбулентного

течения у креплений необходимо подробное исследование поля мгновенных скоростей и турбулентных пульсаций. На модельной установке САНИИРИ проведены лабораторные исследования с целью определения характеристик турбулентности и закономерности растекания потока в воронке размыва, представляющих собой сложный процесс. Нами был применен метод киносъемки, ранее использованный в работах /4, 5, 6/ и др.

Опыты проводились в застекленном лотке, состоящем из подходного и основного участка при заложении откосов крепления $m = 0$ и $m = 1$. Рабочая часть подходного и основного участка соответственно равны $4{,}0 \times 0{,}3 \times 0{,}4$ м и $2{,}0 \times 2{,}0 \times 1{,}0$. Размываемое дно лотка состоит из мелкого песка со средним диаметром 0,23 мм (рис. 1).

Лабораторные опыты проводились при различных расходах и откосах крепления. Из проведенных 28 опытов было выделено и заснято на пленку 7 наиболее характерных. Характеристики заснятых опытов приведены в таблице. Обработка материалов киносъемки в результате опыта производилась по общепринятой методике /4/.

В результате обработки материалов киносъемки были найдены осредненные скорости $\bar{u}\,\bar{v}$, величины максимальных значений продольной u_{max} и вертикальной v_{max} составляющих скоростей, максимальные значения пульсационных составляющих скоростей u'_{max}, v'_{max}. Для характеристики изменения степени турбулентности вдоль исследуемого участка были подсчитаны среднеквадратичные отклонения пульсационных составляющих скоростей σ_u, σ_v, найдены значения интенсивности турбулентности $\sigma_u/\bar{u}_{ср}$ и $\sigma_v/\bar{u}_{ср}$, где $\bar{u}_{ср}$ – средняя скорость в подходном створе, подсчитаны параметры $M_{max} = \frac{u'_{max}}{\bar{u}_{ср}}$, $M_y = \frac{v_{max}}{\bar{u}_{ср}}$

В процессе опытов в воронке размыва поток, протекая по подводящему руслу в условиях равномерного движения и покидая гребень донных отложений, продолжал двигаться в сторону крепления и по мере удаления от гребня отложений постепенно расширялся, вовлекая в движение окружающую жидкость. У креплений с откосами $m = 0$ поток пол-

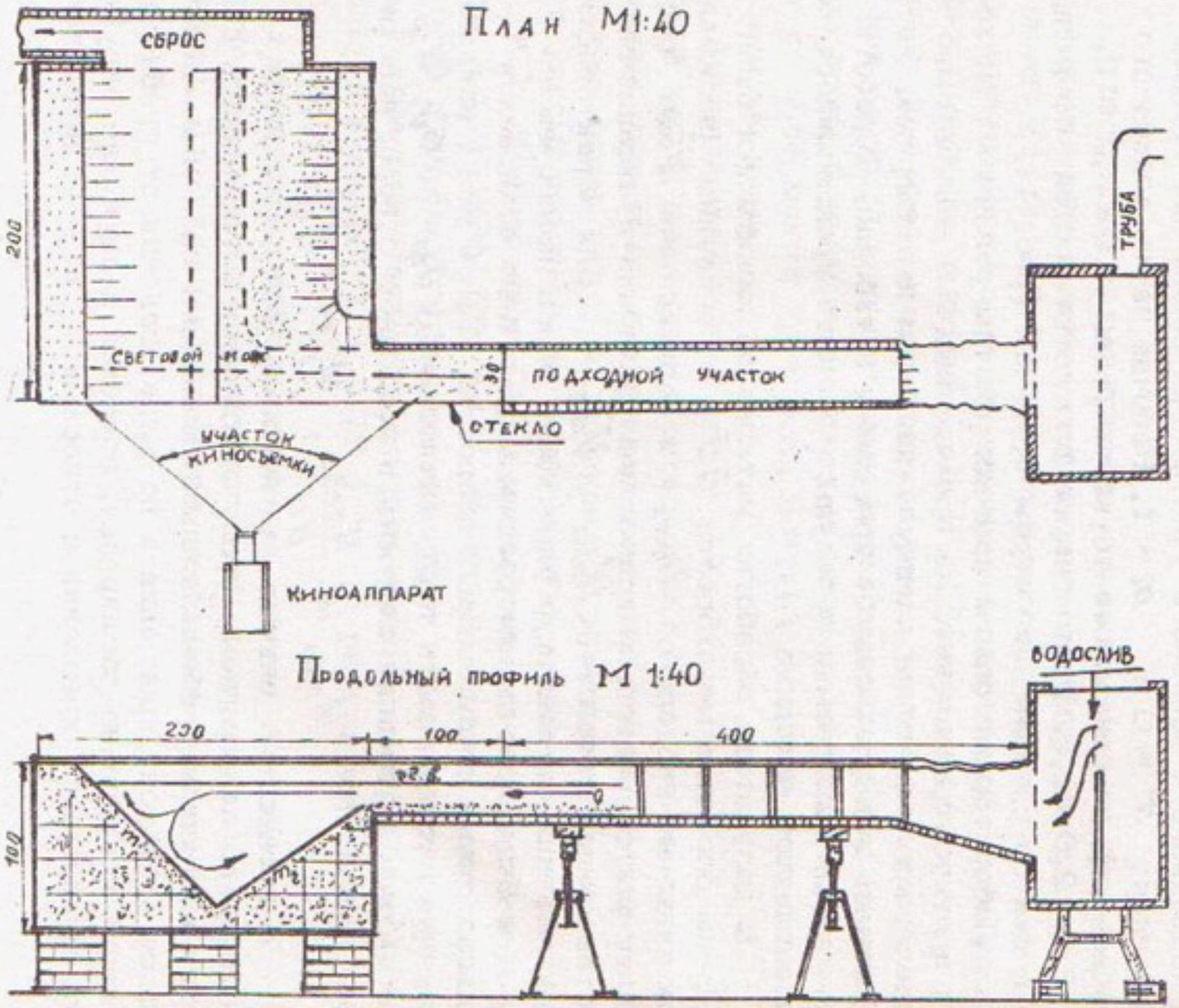


Рис. 1. Схема расположения модели.



Рис. 2. Распределение осредненных и максимальных скоростей потока у берегового крепления $m = 0$.

Таблица

Основные характеристики опытов

Расход воды, q, л/с	Подходная, см глубина, h, см/с	скорость, $\bar{u}$, см/с	Кинетичность потока Fr
8	8,0	37,5	0,179
12	10,0	48,5	0,238
16	12,0	47,3	0,191
8	7,6	37,2	0,186
12	10,2	49,0	0,242
16	11,6	46,9	0,193
16	11,3	45,2	0,190

ностью поворачивается к подошве, размывает дно и отходит от него, образуя мощный валец с единой горизонтальной осью вращения. У откосов крепления при $m = 1$ происходит разделение потока на два направления, одна часть идет вверх по откосу, образуя верхний валец, другая – поворачивает вниз к подошве и размывает дно, создавая зону обратных течений. На рис. 2 показана картина растекания потока и распределения осредненных и максимальных его скоростей для одного из опытов, характеризующих в количественном отношении структуру потока у берегового крепления после стабилизации процесса размыва. Изменение продольной скорости $\bar{u}$ и максимального ее значения $\bar{u}_{max}$ распределяется по вертикали неравномерно, наибольшие значения $\bar{u}$, $\bar{u}_{max}$ во всех опытах находятся в верхних слоях потока. Уменьшение значения $\bar{u}$, $\bar{u}_{max}$ до минимума

Продолжение

Коэффициент отложения, m_0	заложения крепления, m_1	Длина воронки размыва $\mathcal{L}$, см	Максимальная глубина, H_{max}, см	Отношение $\frac{H_{max}}{h}$
2,0	0	70	42	5,2
2,0	0	80	50	5,0
2,0	0	88	55	4,6
2,0	1	80	31	4,1
2,0	1	86	35	3,4
2,0	1	95	39	3,3
2,0	2	106	30	2,6

наблюдается у зоны раздела прямого и обратного течения с повышенной турбулентностью и затем некоторое его увеличение в обратном направлении вдоль откоса призмы отложения. Максимальные значения продольной скорости $\bar{u}_{max}$ в начальном створе в 1,4 раза больше средней скорости $\bar{u}_{ср}$, затем у поворота потока она доходит до 1,1. Это уменьшение происходит более интенсивно у дна воронки размыва и вдоль откоса отложений в зоне обратного течения. По характеру распределения скоростей установлено, что в воронке размыва происходит растекание потока. Угол растекания (линия нулевых значений скорости) находится в пределах 12–15°.

Интенсивный турбулентный обмен между транзитной струей и зоной обратного течения происходит в результате проникновения восходящих токов из зоны обратного течения в толщу основного потока. Это явление обусловливает нали-

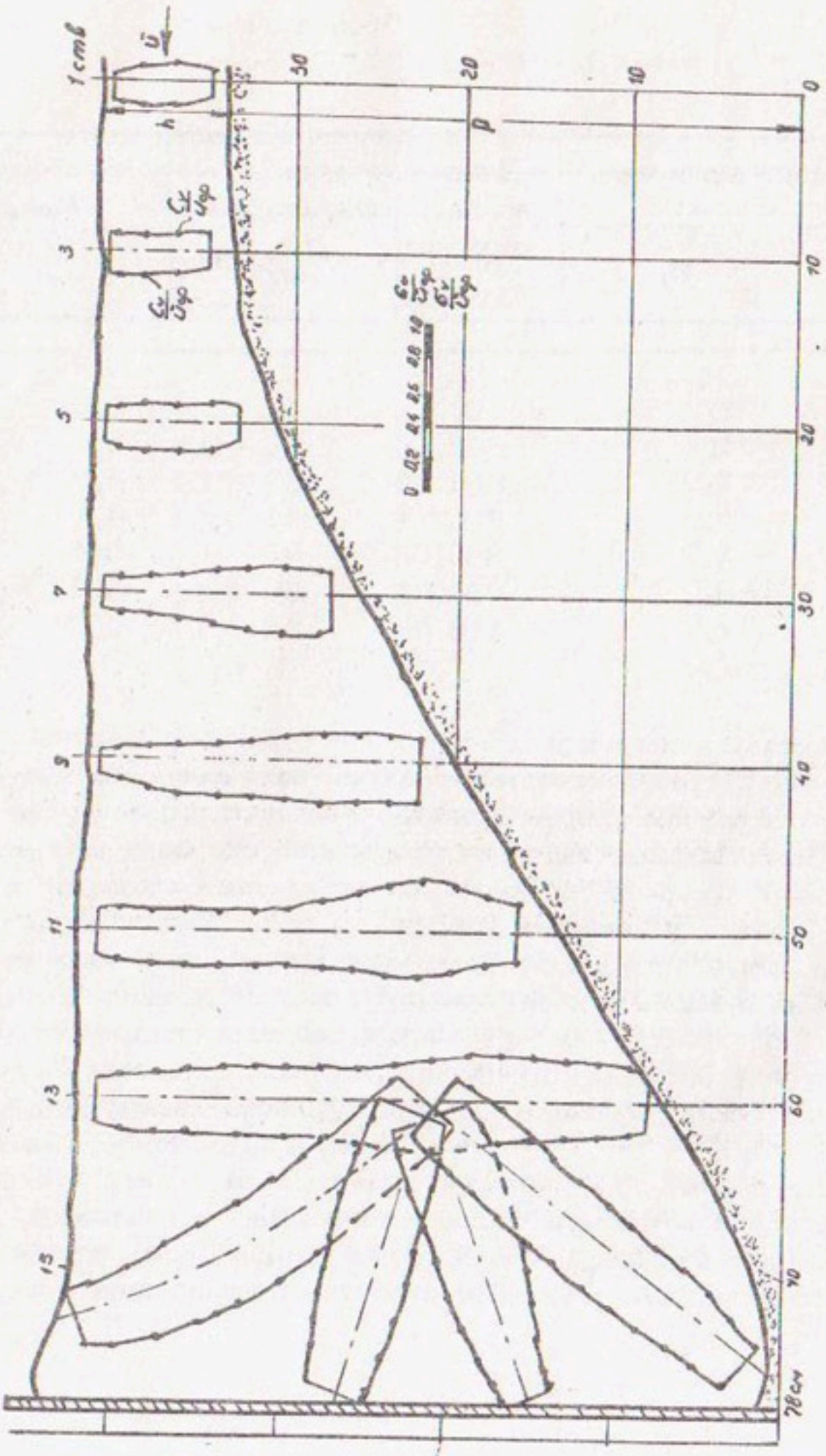


Рис. 3. Распределение пульсационных скоростей потока у берегового крепления $m = 0$.

чие зоны с повышенной турбулентностью. На рис. 3 представлено изменение отношения среднеквадратичных пульсационных отклонений скорости к характерной средней скорости потока на подходном участке $\left(\frac{\sigma_u}{\bar{U}_{ср}}, \frac{\sigma_v}{\bar{U}_{ср}}\right)$ Пульсации скорости по глубине потока и в воронке размыва распределяются неравномерно. Вблизи поверхности $\sigma_u/\bar{U}_{ср.}$, $\sigma_v/\bar{U}_{ср}$ по всей длине изменяются равномерно, наибольшие значения $\sigma_u/\bar{U}_{ср}$ и $\sigma_v/\bar{U}_{ср}$ по вертикали наблюдаются в придонной области подходного русла и в граничном слое между основным потоком и зоной обратного течения.

Подсчитанные параметры

$$M_x = \frac{\bar{U}_{max}}{\bar{U}_{ср}} \quad \text{и} \quad M_y = \frac{v'_{max}}{\bar{U}_{ср}}$$

в зоне действия крепления показали, что во всех опытах уменьшение M_x начинается на расстоянии $0{,}35 \div 0{,}45 \frac{x}{\mathcal{L}}$, что соответствует створу, где под влиянием крепления поток поворачивает, изменяя свое направление вдоль крепления в обратном направлении.

На рис. 4. показаны графики изменения $\frac{\sigma_u}{\bar{U}_1}$ и $\frac{\sigma_v}{\bar{U}_1}$ вдоль исследуемого участка, который характеризует увеличение обеих составляющих пульсации скорости по мере приближения к креплению. Максимальных значений они достигают на расстоянии $0{,}65-0{,}8\ x/\mathcal{L}$, что соответствует створу проникновения обратных токов в толще потока, где наблюдается наибольшая глубина, затем происходит постепенное их уменьшение.

Сопоставление максимального значения пульсации скорости со среднеквадратичными значениями дало следующие величины:

$$\frac{\sigma_u}{U'_{max}} = 0{,}31 \div 0{,}36 \quad \text{и} \quad \frac{\sigma_v}{U'_{max}} = 0{,}35 \div 0{,}43.$$

Для продольной пульсации $\sigma_u = 1/3\, U'_{max}$, что согласуется с

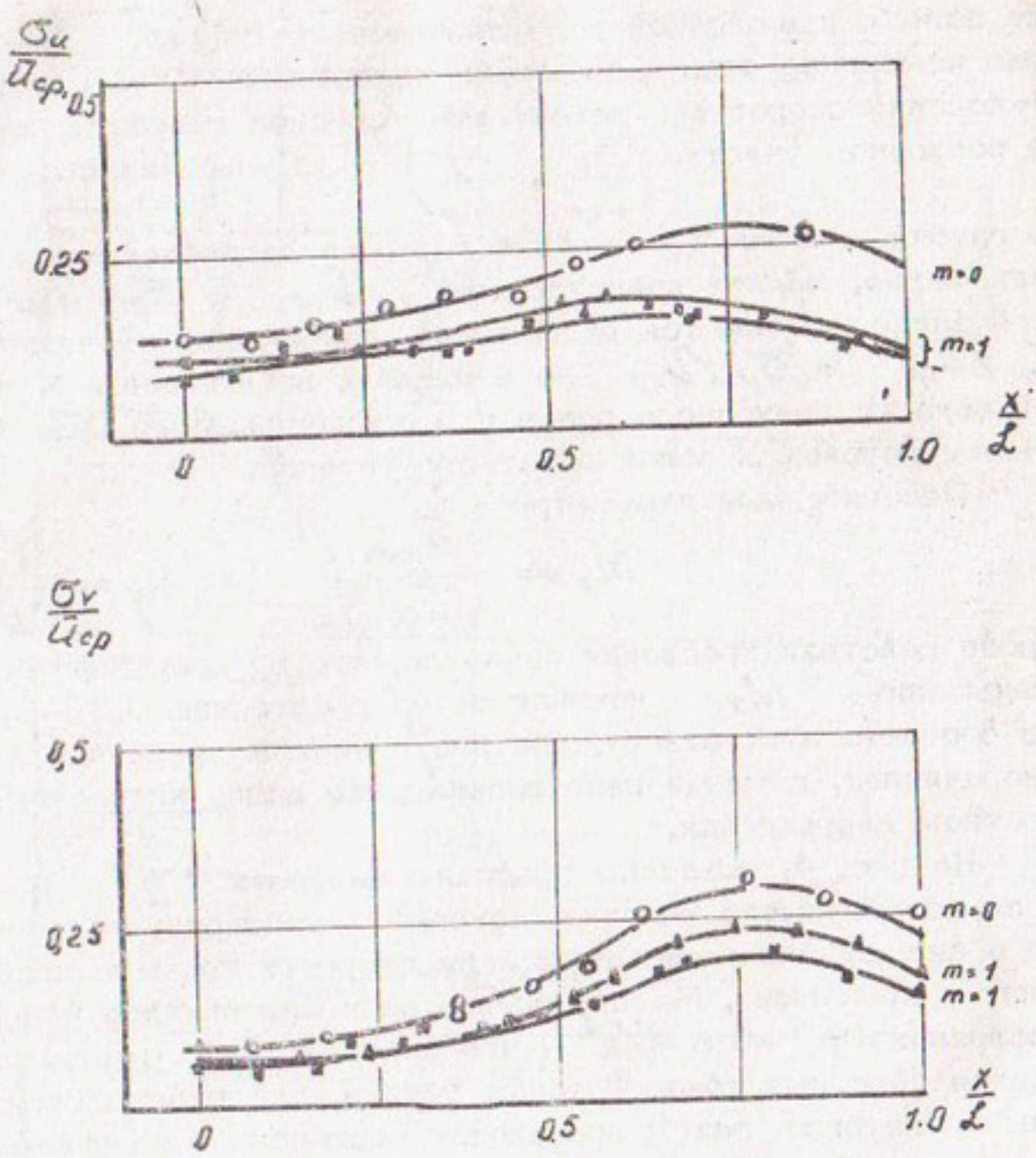


Рис. 4. Распределение среднеквадратичной продольной $\frac{\sigma_u}{\bar{U}_{ср}}$ и вертикальной $\frac{\sigma_v}{\bar{U}_{ср}}$ составляющих пульсации скорости у берегового крепления.

данными Д.И. Кумина /7/ и Х.А. Ирмухамедова /4/ и др., для вертикальной – $\sigma_v \geq 1/3\, U'_{max}$

Проведенные анализы опытов кинематической структуры потока в воронке размыва позволили выявить некоторые характерные зоны течения: зона движения слабовозмущенного

транзитного потока ; зона опускающегося потока вдоль откоса креплений; зона обратных течений и зона верхнего вальца у откосов креплений $m \geq 1$.

Использовав основные положения теории турбулентных струй в ограниченном пространстве, приведенные в работах Г.Н. Абрамовича /8/ и М.А. Михалева /9/, мы установили для этих зон некоторые закономерности распределения глубины, скорости и удельных расходов воды в воронке размыва у береговых креплений.

В частности, выявлены тесные зависимости изменения относительных значений глубины (h/h_1), скорости (u/u_1), удельных расходов (q/q_1) и осевой скорости воды (u_m/u_1) от относительного расстояния (x/h_1) для транзитного потока в воронке размыва при различных расходах и откосах крепления (рис. 5).

Эти зависимости описываются следующими формулами:

$$\frac{h}{h_1} = 1 + 0{,}22\,\frac{x}{h_1} \qquad (1)$$

$$\frac{u_{ср}}{u} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0{,}22\,\frac{x}{h_1}}} \qquad (2)$$

$$\frac{q}{q_1} = 1 + 0{,}085\,\frac{x}{h_1} \qquad (3)$$

$$\frac{u_m}{u_1} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0{,}085\,\frac{x}{h_1}}} \qquad (4)$$

В опытах угол расширения транзитного потока составлял

$$\alpha = 12\text{–}15^{\circ} \qquad (5)$$

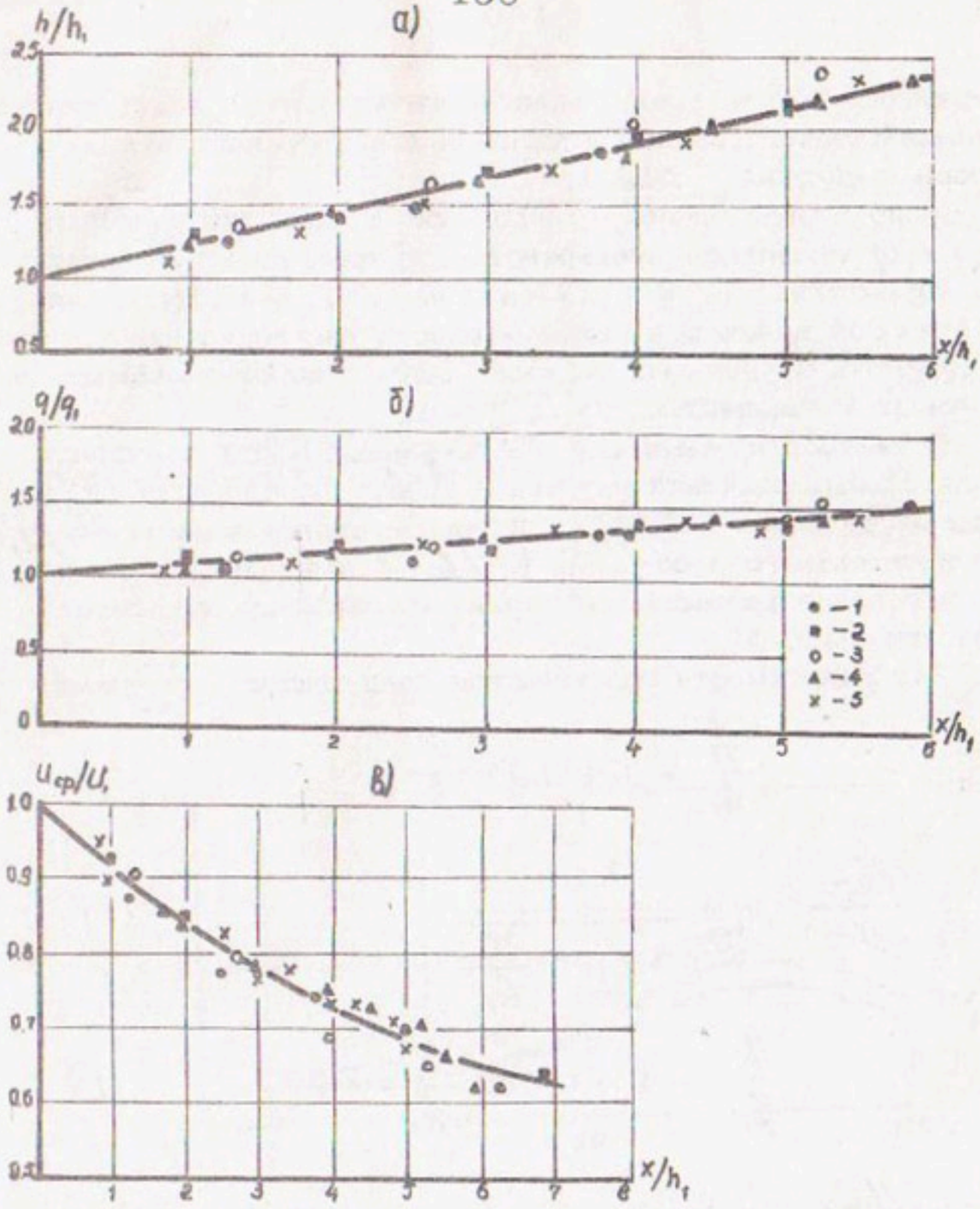


Рис. 5 а, б, в. Графики зависимости относительных значений глубин (h/h_1), погонных расходов (q/q_1), скорости ($U_{ср}/U_1$) от относительного расстояния для транзитного потока. 1) $q = 8$ л/с, $m=0$; 2) $q = 12$ л/с, $m=0$; 3) $q = 8$ л/с, $m=1$; 4) $q = 12$ л/с, $m=1$; 5) $q = 16$ л/с, $m=1$. То же на рис.6.

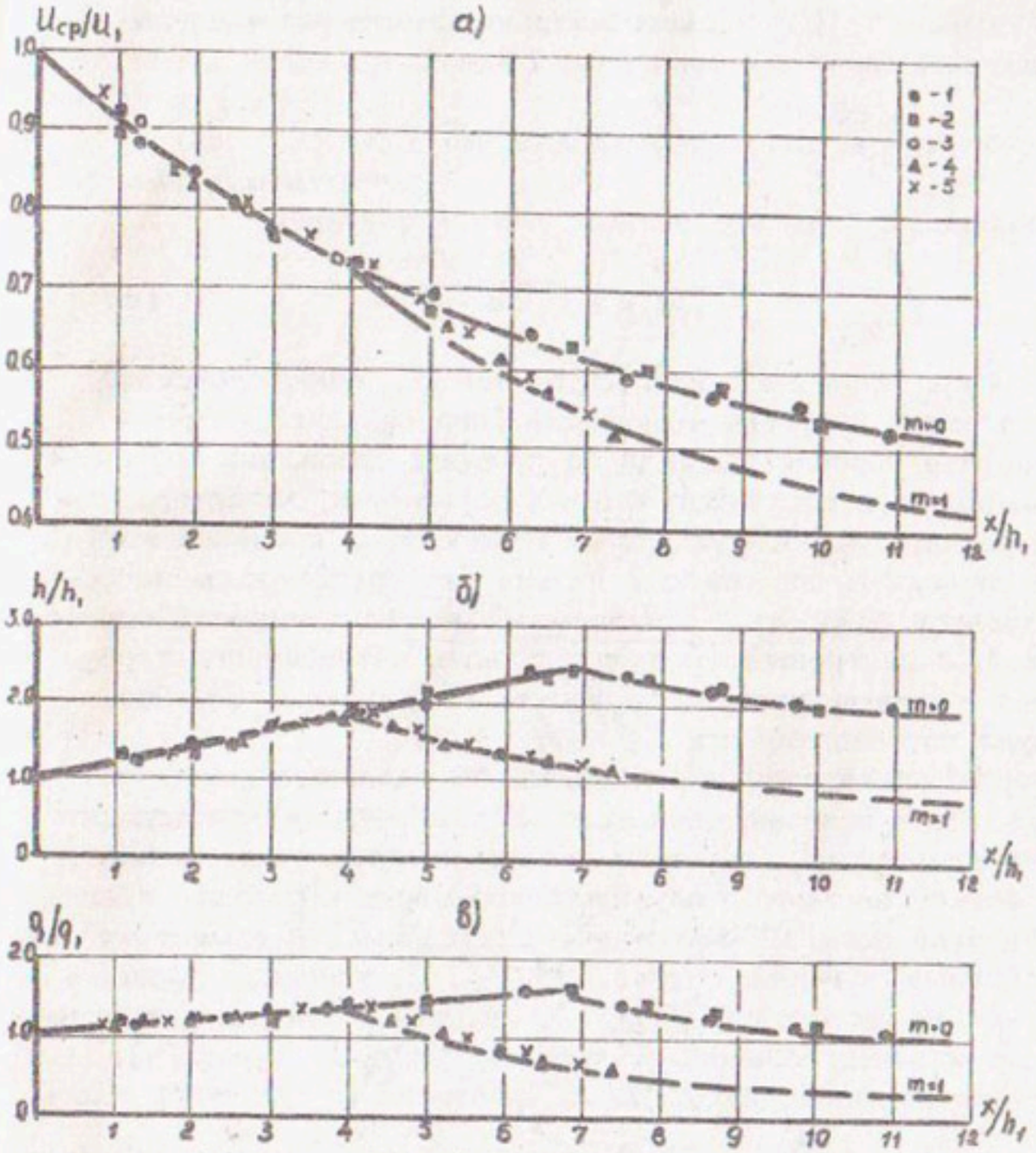


Рис. 6 а, б, в. Графики зависимости относительных значений скорости ($U_{ср}/U_1$), глубины (h/h_1), погонных расходов (q/q_1) от относительного расстояния для транзитного потока вдоль крепления и обратных течений в воронке размыва.

Ширина области интенсивного турбулентного перемешивания оказалась равной

$$b = h_1 + 0{,}33 x_1$$

Изменение глубины транзитного потока составило

$$h_{тр.} = h_1 + 0{,}085 x \qquad (6)$$

В пределах некоторой части потока, непосредственно примыкающей к гребню отложений (первая зона), течение жидкости в воронке размыва за гребнем отложений формально совпадает с соответствующими формулами, характеризующими плоскую свободную струю жидкости. В пределах этой зоны свободную поверхность потока (за исключением непосредственной близости к креплениям) можно принимать горизонтальной, а внутреннюю границу области интенсивного турбулентного перемешивания определять из формулы (5). Эта формула справедлива при $b \leq h$ /9/.

Как отмечалось выше, при $m = 0$ поток полностью опускается к подошве крепления, а при $m = 1$ происходит разделение потока. При этом особый интерес представляет определение элементов опускающейся струи к подошве крепления (вторая зона). Нами получены зависимости изменения относительных значений глубины (h_2/h_1), удельных расходов (q_2/q_1), скорости (u_2/u_1), опускающейся вдоль крепления струи относительного расстояния (x/h_1) (рис. 6).

Для вертикальных откосов крепления ($m = 0$) имеем

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{5{,}25}{\left(\frac{x}{h_1}\right)^{0{,}4}} \qquad (7)$$

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{7{,}25}{\left(\frac{x}{h_1}\right)^{0{,}8}} \qquad (8)$$

Изменение относительных скоростей (u_2/u_1) в транзитном потоке и вдоль креплений аналогичны и выражается зависимостью (2).

При $m = 1$ эти зависимости характеризуются следующими выражениями:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{5,4}{\left(\frac{x}{h}\right)^{0,77}} \qquad (9)$$

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{1,45}{\left(\frac{x}{h_1}\right)^{0,5}} \qquad (10)$$

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{8,9}{\left(\frac{x}{h_1}\right)^{1,35}} \qquad (11)$$

Для зоны обратных течений получены следующие зависимости элементов потока:

$$h_н = \frac{x}{m} - 0,22x \qquad (12)$$

$$u_н = \frac{0,085\,u_1}{\frac{1}{m} - 0,22} \qquad (13)$$

$$q_н = 0,085\,u_1 x \qquad (14)$$

Вдоль напорной грани крепления при $m = 1$ происходит разделение потока, образуется верхний валец, гидравлические элементы которого выражается в виде

$$q_в = 0{,}3; \quad h_в = 1{,}5\,h_1; \quad U_в = 0{,}2\,U_1 \qquad (15)$$

в выше указанных выражениях $q_1, h_1, U_1, q, h, U, q_2, h_2, U_2, q_н, h_н, U_н$ и $q_в, h_в, U_в$ – соответственно расход, глубина и скорость в транзитном потоке, вдоль крепления, вдоль обратного течения, а также в верхем вальце,

x – расстояние от начального сечения.

Проведенные исследования по изучению растекания потока в воронке размыва у береговых креплений с использованием метода скоростной киносъемки позволили установить изменение некоторых скоростных характеристик растекающейся струи в различных зонах течений.

Полученные зависимости изменения глубины, скорости и удельных расходов воды в воронке размыва могут быть использованы при разработке метода расчета глубины размыва у береговых крупленний.

Литература

1. Алтунин С.Т., Бузунов И.А. Защитные сооружения на реках. М., Сельхозгиз, 1953.

2. Абальянц С.Х. Глубина размыва у берегозащитных креплений на р. Амударье. В сб. "Вопросы гидротехники", вып. 27, 1965.

3. Имамутдинов К.Х. Опыт проектирования и расчета асфальтобетонных тюфяков в условиях нижнего течения Амударьи. Труды САНИИРИ, вып. 135, Ташкент. 1972.

4. Ирмухамедов Х.А. Кинематическая структура потока на подходе к гидростанции с промывными галереями. Научно-технический информационный бюллетень, № 6, Л., 1961.

5. Каюмов О.А., Ирмухамедов Х.А. Кинематическая структура потока у защитно-регулировочных сооружений. Труды САНИИРИ, вып. 120, Ташкент, 1970.

6. Мирзиятов М. Экспериментальные исследования кинематической структуры потока у сквозных шпор. Труды САНИИРИ, вып. 140, Ташкент, 1974.

7. Кумин Д.И. Турбулентность и гашения энергии при сопряжении бьефов. Известия ВНИИТ, т. 55, 1956.

8. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй, 1962.

9. Михалев М.А. Гидравлический расчет потоков с водоворотом, Л., "Энергия", 1971.

Содержание

стр.

1. Т.И.Дерлятка, А.С. Боровец. Принципы распределения между регионами средств на переустройство гидромелиоративных систем 3

2. Т.И.Дерлятка, Э.Э.Сейтумеров. Оценка существующего состояния хозяйственных гидромелиоративных систем – основа эффективного планирования переустройства 14

3. А.В.Бочарин, Т.И.Голубева. Принципы нормирования потерь воды на внутрихозяйственной оросительной системе 23

4. А.В.Бочарин, В.Л.Демихов. Расчет межхозяйственного водооборота и оценка его эффективности 32

5. Н.Н. Мирзаев. Расчетный способ построения связей "Урожай – оросительная норма" для оптимизации планов водопользования 44

6. Х.И. Заиров М.П. Сальников. Состояние и пути улучшения метрологического обеспечения управлений эксплуатации оросительных систем 55

7. М.Ю.Борухов, А.Н. Спесивцев И.Ш.Фрайд. Оперативное управление распределением водных ресурсов в условиях "АСУБ – Сырдарья" 64

8. Ю.И.Бобров, М.Г.Колесникова, Е.Я.Сотник. Моделирование переходных процессов в звеньях оросительной сети на АВМ структурным методом 73

стр.

9. Х.А.Ирмухамедов. Транспортирующая способность потока и интенсивность размыва берега на участке дейгища 83

10. Х.А.Ирмухамедов, Г.И.Черникова, А.Р.Халиков. Проектирование и расчет русловыправительных прорезей в условиях р. Амударьи 96

11. В.В.Богатырев. Модель функционирования системы оперативного контроля и управления на оросительной системе 102

12. И.И.Горошков, В.С.Хачикянц, С.А.Полинов. Технико-экономическая эффективность кольматации Ульяновского канала в Каршинской степи 111

13. А.А.Кадыров, И.А.Бузунов. К вопросу расчета неразмывающих скоростей 122

14. Х.А.Ирмухамедов, М.М.Кучкаров. Экспериментальные исследования закономерностей растекания потока у берегового крепления. 140

15. Рефераты к сборнику научных трудов, вып. 158 (Новая техника в эксплуатации оросительных систем Средней Азии) 158

Р Е Ф Е Р А Т Ы

к сборнику научных трудов, вып. 158
(Новая техника в эксплуатации оросительных систем Средней Азии)

УДК 626.81 : 338.1

ПРИНЦИПЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖДУ РЕГИОНАМИ СРЕДСТВ НА ПЕРЕУСТРОЙСТВО ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Т.И. Дерлятка, А.С. Боровец

Сборник научных трудов, вып. 158, Ташкент, САНИИРИ, 1979

Статья содержит основные положения методики распределения средств между областями. Выделенные республике средства распределяются между областями пропорционально условному эффекту, который рассчитывается по выражению

$$Э_у = Э \cdot K_э \frac{1}{K_{э.р.}} \cdot K_{с.и.},$$

где $Э_у$ – ожидаемый эффект от переустройства, определяется отдельно для каждой области по следующим составляющим: мелиоративному улучшению земель, приросту полезной площади, экономии воды, планировке поливных участков, повышению производительности труда в полеводстве;

$K_э$ – коэффициент эффективности капиталовложений;

$K_{э.р.}$ – коэффициент экономического развития области;

$K_{с.и.}$ – коэффициент обеспеченности области строительной индустрией.

Затраты на переустройство определяются по элементам: оросительной, коллекторно-дренажной, дренажной сети и планировки поверхности поливных участков.

Табл. 1, библ. 4.

УДК 626.810 : 338.1 : 681.3

ОЦЕНКА СУЩЕСТВУЮЩЕГО СОСТОЯНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ - ОСНОВА ЭФФЕКТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРЕУСТРОЙСТВА

Т.И. Дерлятка, Э.Э. Сейтумеров

Сборник научных трудов, вып. 158, Ташкент, САНИИРИ, 1979

Приводятся принципы оценки состояния хозяйственных систем для определения необходимости их переустройства. Критерием необходимости является выражение

$$\frac{Э}{K} > E_н ,$$

где $Э$ - суммарный эффект от переустройства;
K - необходимые капиталовложения;
$E_н$ - нормативный коэффициент эффективности.

Суммарный эффект равен

$$Э = \frac{1}{\alpha_q}\left(Э_{м.у.} + Э_{п.в.} + Э_{\omega} + Э_{п.т.}\right) + Э_в^{в.п.} + Э_в^{н.в.п.},$$

где $Э_{м.ч.}$ - эффект от улучшения мелиоративного состояния земель;
$Э_{п.в.}$ - эффект от повышения водообеспеченности:
$Э_{\omega}$ - эффект от прироста полезной площади;
$Э_{п.т.}$ - эффект от повышения производительности труда;
$Э_в^{в.п.}$ и $Э_в^{н.в.п.}$ - эффекты от экономии воды в вегетационный и невегетационный периоды;
α_q - доля ведущей отрасли в чистом доходе оцениваемого хозяйства.

Величина капиталовложений определяется по укрупненным показателям в зависимости от уклона местности и проницаемости почвогрунтов. Приведен пример оценки хозяйственных систем Пахтаабадского района Андижанской области.

Табл. 1, библ. 4.

УДК 626.81

ПРИНИЦИПЫ НОРМИРОВАНИЯ ПОТЕРЬ НА ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

А.В. Бочарин, Т.И. Голубева

Сборник научных трудов, вып. 158, Ташкент, САНИИРИ, 1979.

Введены условия пропорциональности размера водоподачи и действующей длины сети размеру поливаемой площади; предлагается формула нормативного КПД хозяйственной сети:

$$\eta = 1 - \frac{0{,}01\, A\, \mathcal{L}}{(kQ)^m} \sum_{i=1}^{n} \cdot \alpha_i^{1-m} \cdot \beta_i ,$$

где A, m – параметры проницаемости;

$\mathcal{L}$ – общая длина сети;

α – доля хозяйственных отводов;

β – коэффициент поливного задания;

kQ – расчетный расход.

Приводится методика определения расчетного значения коэффициента K и дается его среднее значение, равное 0,44.

Предлагается метод вычисления нормативных значений КПД техники полива, основанный на анализе и обработке статистических данных по плановым и фактическим поливным нормам за критический период вегетации.

Иллюстр. 2, библ. 5.

УДК 338.1 : 626. 81

РАСЧЕТ МЕЖХОЗЯЙСТВЕННОГО ВОДООБОРОТА И ОЦЕНКА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

А.В. Бочарин, В.Л. Демихов

Сборник научных трудов, вып. 158, Ташкент, САНИИРИ, 1979

Излагается обоснование и методика расчета водооборота, являющегося одним из действенных приемов по сокращению непроизводительных потерь воды при маловодье.

Эффективность водооборота по сокращению потерь воды в зависимости от числа его тактов (γ) и протяженности работающей сети (β) рекомендуется определять по формулам

для магистрального канала

$$\Theta' = 0{,}5^{-m} \cdot \left(2^m \sum_{i=1}^{n} \cdot \beta_i' \cdot \gamma_i + \beta_1' \cdot \sum_{i=2}^{n} \cdot \gamma_1 + \beta_2' \cdot \sum_{i=3}^{n} \cdot \gamma_i' + \ldots + \beta_{n-1}' \cdot \gamma_n'\right);$$

для межхозяйственной сети

$$\Theta'' = n^{1-m} \cdot \sum_{i=1}^{c} \cdot \beta_i'' \cdot \gamma_i$$

Оптимальный вариант принятой схемы водооборота определяется по критерию

$$\Theta = \Theta' + \Theta'' \rightarrow min$$

Рекомендуется порядок расчета по разработанным формулам и ограничениям.

Библ. 8.

УДК 626.81 : 631.6.

РАСЧЕТНЫЙ СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ СВЯЗЕЙ "УРОЖАЙ – ОРОСИТЕЛЬНАЯ НОРМА" ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНОВ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Н.Н. Мирзаев

Сборник научных трудов, вып. 158, Ташкент, САНИИРИ, 1979

Для оптимизации внутрихозяйственного водопользования в качестве исходной информации необходимы зависимости между урожайностью сельхозкультур и оросительной нормой $y = f(M)$,

где y – урожайность сельскохозяйственной культуры;

M – оросительная норма.

Построение их для всей совокупности сельскохозяйственных культур и почвенно-климатических условий на основе специальных экспериментов и математической обработки существующей информации в настоящее время не представляется возможным.

В связи с этим возникает необходимость в методе, позволяющем построить данные зависимости расчетным путем. В статье излагается способ построения связей $y = f(M)$. для различных сельскохозяйственных культур, гидрогеологических районов и климатических зон.

Иллюстр. 6, библ. 10.

УДК 626.81

СОСТОЯНИЕ И ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Х.И. Заиров, П.М. Сальников

Сборник научных трудов, вып. 158, Ташкент, САНИИРИ, 1979

Приведены результаты анализа состояния измерений в Управлениях эксплуатации оросительных систем. Намечены основные направления развития метрологической службы отрасли для ликвидации разрыва между существующим состоянием и требуемым уровнем функционирования ГМС.

Табл. 3, библ. 3.

УДК 333.93 : 626.81

ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В УСЛОВИЯХ "АСУБ – СЫРДАРЬЯ"

М.Ю. Борухов, А.Н. Спесивцев, И.Ш. Фрайд

Сборник научных трудов, вып. 158, Ташкент САНИИРИ, 1979

В работе рассматриваются различные варианты функционирования подсистемы оперативного управления водораспределением в зависимости от реального состояния контролируемых объектов; кратко излагается содержание пяти первоочередных задач подсистемы оперативного управления водораспределением, а также их взаимосвязь в границах 1 очереди "АСУБ – Сырдарья".

Иллюстр. 3.

УДК 626.824

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗВЕНЬЯХ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НА АВМ СТРУКТУРНЫМ МЕТОДОМ

Ю.И. Бобров, М.Г. Колесникова, Е.Я. Сотник

Сборник научных трудов, вып. 158, Ташкент, САНИИРИ, 1979

В работе приводится методика использования структурного метода для решения на АВМ операторного уравнения динамики движения воды в открытых каналах, выведенного Э.Э.Маковским.

На примере одного из участков Джизакской оросительной системы показано применение этой методики для моделирования системы автоматического управления (САУ) уровня верхнего бьефа ГТС с релейно-импульсным регулятором.

Использование структурного моделирования САУ оросительных систем значительно упрощает подготовку моделей, повышает производительность труда и эффективность исследований на АВМ.

Иллюстр. 5, библ. 5.

УДК 627.001

ТРАНСПОРТИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОТОКА И ИНТЕНСИВНОСТЬ РАЗМЫВА БЕРЕГА НА УЧАСТКЕ ДЕЙГИША

Х.А. Ирмухамедов

Сборник научных трудов, вып. 158, Ташкент, САНИИРИ, 1979

Приводятся особенности дейгиша, причины его возникновения и механизм относа продуктов размыва от места обрушения.

На основании натурных и экспериментальных исследований установлены транспортирующая способность потока и интенсивность размыва берега на участке дейгиша.

Иллюстр. 2, библ. 10, табл. 1.

УДК 532.5 : 627.141.22

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСТЕКАНИЯ ПОТОКА У БЕРЕГОВОГО КРЕПЛЕНИЯ

Х.А. Ирмухамедов, М.М. Кучкаров

Сборник научных трудов, вып. 158, Ташкент, САНИИРИ 1979

В статье излагаются результаты экспериментальных исследований растекания потока в воронке размыва у берегового крепления при различных откосах.

В результате обработки материалов киносъемки получена полная картина растекания потока в воронке размыва перед креплением.

Получены зависимости по определению основных гидравлических характеристик растекающего потока (глубина, скорость и удельный расход) перед креплением.

Иллюстр. 6, библ. 9.

УДК 631.61.658.52

МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ НА ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

В.В. Богатырев

Сборник научных трудов, вып. 158, Ташкент, САНИИРИ, 1979

В работе показано, что математическая модель системы ЦКУ можно представить в виде модели системы массового обслуживания с потерями. Приводится расчет качества функционирования системы ЦКУ; за критерий качества функционирования принимается критерий средних потерь.

Библ. 4.

УДК 626.01 : 627.5

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА НЕРАЗМЫВАЮЩИХ СКОРОСТЕЙ

А.А. Кадыров, И.А. Бузунов

Сборник научных трудов, вып. 158, Ташкент, САНИИРИ, 1979

Анализируются причины наличия большого числа расчетных формул для определения неразмывающих скоростей, что объясняется неоднозначностью закономерности изменения коэффициентов гидравлического сопротивления λ и $K_н$. В основу анализа положена функциональная зависимость А.А. Кадырова, установленная с помощью структурной модели турбулентного безнапорного плоского потока, и условия устойчивости типа "коэффициент Лохтина".

Табл. 2, иллюстр. 4, библ. 21.

УДК 626.8 : 69.03.001.2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ РУСЛОВЫПРАВИТЕЛЬНЫХ ПРОРЕЗЕЙ В УСЛОВИЯХ р. АМУДАРЬИ

Х.А.Ирмухамедов, Г.И.Черникова, А.Р.Халиков

Сборник научных трудов, вып. 158, Ташкент, САНИИРИ, 1979

В статье изложен метод гидравлического расчета и даны практические рекомендации по проектированию руслоправительных прорезей, разработанные САНИИРИ и институтом "Узгипроводхоз" на основе накопленного опыта по осуществлению спрямлений в условиях р. Амударьи.

Библ. 4.

УДК 626.8

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОЛЬМАТАЦИИ УЛЬЯНОВСКОГО КАНАЛА

И.И.Горошков, В.С.Хачикянц, С.А.Полинов

Сборник научных трудов, вып.158, Ташкент, САНИИРИ, 1979

Излагается метод оценки экономической эффективности противофильтрационного экрана на оросительном машинном канале в виде кольматации и заиления его ложа взвешенными наносами, поступающими из источника орошения.

Особенностью метода является то, что к капитальным вложениям в экран отнесень затраты на подачу дополнительного объема воды, содержащей наносы, т.к. фильтрационные потери в начальный период эксплуатации канала и образования экрана увеличены.

Табл. 2, библ. 5.

Редакторы:

Д.Х.Володина, А.Ш.Меркина, Р.П.Худаянц

Корректор Р.П.Яхъяева

Р -05255. Подписано в печать 30.X.79 г.

Формат бумаги 60x90 1/16. Уч.-изд.л. 6,0
Тираж 450 экз. Заказ №1671Цена 75 коп.

Картфабрика института "Узгипрозем", Ташкент, Мукими, 176