

**МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "САНИИРИ"

**СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ИРРИГАЦИИ ИМ. В.Д.ЖУРИНА**

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
**"МЕЛИОРАЦИЯ И ВОДНОЕ
ХОЗЯЙСТВО"**

Ташкент 1996

**МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "САНИИРИ"

**СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ИРРИГАЦИИ ИМ. В.Д.ЖУРИНА**

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

**"МЕЛИОРАЦИЯ И ВОДНОЕ
ХОЗЯЙСТВО"**

Ташкент 1996

В сборнике представлены результаты исследований ученых, специалистов и аспирантов Среднеазиатского научно-исследовательского института им. В.Д.Журина в области мелиорации и водосберегающей технологии, эксплуатации гидромелиоративных систем, водохозяйственного строительства и систем управления водохозяйственным комплексом.

Редакционная коллегия:

Икрамов Р.К. (гл. редактор), Рахимов Ш.Х., Хорст М.Г., Якубов Х.И., Исмагилов Х.А., Усманов А.У., Насонов В.Г., Беглов Ф.Ф., Пулатов А.У.

УДК 502.5(262.83)

В.А.Духовный,
И.Б.РузиевОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРАЛА И ПРИАРАЛЬЯ И ПОДХОДЫ
К ИХ РЕШЕНИЮ

Проблема Арала и Приаралья приобрела мировую известность по темпам и масштабам усыхания Аральского моря как огромного водоёма с пресной водой, служившего много лет источником жизни, рыбоводства и природным регулятором для орошаемой территории, расположенной среди пустынных земель Кызылкума, Каракумов и Устюрта. Бессточный бассейн двух рек Амударьи и Сырдарьи, заканчивающийся Аральским морем, до 1960 г. находился в равновесии "прихода и расходования воды", из общих поверхностных и подземных водных ресурсов половина (63 км^3) использовалась на создание пролукции и нужды общества, а половина – на затраты стока (57 км^3), включая поддержание Арала. Однако демографическое давление, трендовое развитие экономики, ориентированное на экстенсивное увеличение водопотребления в интересах в основном орошения, нарушили это равновесие и в результате возник "феномен гибели Арала". Снижение уровня моря, начавшееся в 1961 г., достигло ныне 15 м, акватория уменьшилась на 2 млн га, или на 30%, объём воды в озере сократился почти в 4 раза, бывший единый водоём разделился на три: Малое море на севере, Центральное и глубоководное Западное. При этом минерализация воды увеличилась почти до 40 г/л, или в 5 раз, рыбопродуктивность снизилась до нуля против исходных почти 40 тыс т в год. На бывшем дне моря появились обширные территории солончаков, сильно засоленных земель, очагов соле-пылевыноса, сопровождающихся процессами опустынивания. В прибрежной зоне (выше 53 м отметки) полностью разрушилась сформировавшаяся ранее многовековая экосистема дельты и прибрежной полосы, высохли озера, повысилась минерализация воды в оставшихся водоёмах, вместо обсохших болот появились солончаки, значительно сократилась добыча рыбы, пушного зверя, исчезли территории гнездования перелётных птиц, изменились флора и фауна, локальный климат.

Сложившаяся экологическая ситуация тревожит всё население, проживающее в бассейне Аральского моря и за его пределами. Ката-

строфическое положение здесь вызвало необходимость решения задачи смягчения воздействий указанных процессов. Появилось множество проектов, пытающихся решить данный комплекс задач. Все предлагаемые проекты должны быть направлены на:

защиту населения от неблагоприятного воздействия природы, возникшего в результате падения уровня Аральского моря;

создание или восстановление максимально полезного биологического разнообразия животного мира;

создание рабочих мест для проживающего населения путём восстановления рыбопроизводства, пастбищного скотоводства, перерабатывающей отрасли и т.д.;

создание социальных условий для проживания населения и создания условий экономического подъёма жизненного уровня населения за счёт внедрения высокопродуктивных технологий, основанных на использовании водных и земельных ресурсов;

предотвращение развития негативных природных процессов и восстановление экологического равновесия на территории Приаралья.

Ранее эти задачи решались на природном фоне двух взаимосвязанных стабильных экосистем, основанных на определенном гидрологическом режиме Амударьи и Сырдарьи – Аральского моря и Приаралья. Хозяйственная деятельность вблизи моря и в дельтах была тесно связана с режимом этих зон и их особенностями и существенно не влияла на природные условия.

Воссоздание этих двух зон, как и моря, в нынешних условиях не реально, в первую очередь по водным ресурсам. Для восстановления моря в полном объёме до 53 отметки необходима в течение 20-25 лет ежегодная подача в Арал 73 км^3 без учета требований дельты. Сохранение моря на отметке 38 – задача более доступная. Вместе с нуждами дельт требуется $30,0-35,0 \text{ км}^3/\text{год}$. Однако это не избавляет от всех бед, нанесенных окружающей среде, их становится все больше и больше. При сохранении моря на этой отметке будет продолжаться опустынивание, прежде всего пострадает население прибрежной зоны, так как море находится на расстоянии 60-70 км. Воссоздание двух взаимосвязанных зон – море и дельта – не реально по экономическим возможностям нынешнего периода. Очевидно, несбыточным, особенно в условиях независимых государств, представляется, что донорская подпитка вод извне может быть осуществлена непосредственно в интересах моря, ибо экономическая

окупаемость такого мероприятия очень низкая.

Концепция, утвержденная на совещании Глав государств Центральной Азии II.01.1994 г., исходит из практической осуществимости и объективной необходимости улучшения экологической ситуации в Приаралье наряду с обеспечением социально-экономического развития региона и отдаёт приоритет спасению и защите Приаралья, а не Аральского моря. При этом создание устойчивого экологического профиля обводненного Приаралья при формировании новых экологически действующих активных природных систем в пределах Аральского моря и дельт рек Сырдарьи и Амударьи должно устранить имеющиеся отрицательные последствия путём раздельного их решения предлагаемыми мероприятиями при предельно возможных ресурсах подачи воды. Многолетние исследования, а также осуществляемые Минводхозом Узбекистана с 1989 г. меры по обводнению дельты, формированию системы маловодных озёр позволили наметить и приступить к созданию устойчивой активной экосистемы в дельте и на осушенном дне моря, при которой будет восстановлено и увеличено рыбопроизводство, охотничье хозяйство и животноводство, созданы зоны миграции перелёта птиц, предотвращены соле- и пылеперенос с осушенного дна моря, восстановлены дельта, её флора, фауна и водный режим.

Уже в 1989-1992 гг. при подаче воды через временные сооружения в бывшую дельту и окрестности Муйнака и других посёлков Приаралья увеличился вылов рыбы от 2 до 5 тыс т в год, улучшились микроклимат, пастбища и т.д.

Предусматривается создать активную зональную природно-антропогенную управляемую экосистему, обеспечивающую стабильность восстановления нарушенного природного равновесия в Приаралье, достижение прошлой природной продуктивности Арала и Приаралья путём создания новой суммарной продуктивности намечаемых зон в условиях изменчивости водного фактора и его возросшего дефицита, отрицательно сложившихся трендов, путём определенного комплекса мероприятий.

В Приаралье и на осушенном дне моря предложено выделить 6 различных экозон, питающихся раздельно на пресной и минерализованной воде, которые выполняют различные природоохранные задачи:

- 1) дельты и прилегающие площади отгонного животноводства и пастбищ;
- 2) зона защиты селитебных центров, их благоустройства и ре-

креации (Муйнака, Аральска и др.);

3) зона защиты побережья от соле-, пылепереноса и восстановления рыбоводства и ондатроводства (зона антипольдеров);

4) водоёмы на минерализованной воде в качестве места миграции птиц и водного ландшафта аквакультур;

5) зона осушенного дна под фитомелиорацию;

6) Аральское море (или его останец).

Детально изучив с помощью экологов точные требования природы к каждому ландшафту с позиций не только его прямого назначения, но и стабильности во времени, сопоставим все предлагаемые решения по Приаралю, исходя из того, насколько они могут обеспечить стабильность улучшения экологической ситуации, насколько реально их выполнение с учетом ограничений в воде и средствах (особо в воде), насколько они восстанавливают прежнюю природную продуктивность. Рекомендуются следующие критерии оценки:

потребность в пресной и минерализованной воде;

допустимые колебания в водности притока;

стабильность экологической ситуации в нестабильной внешней обстановке водоснабжения;

степень защиты опасной к развитию соле-, пылевыносом зоны;

степень восстановления исходной продуктивности прежнего Арала и Приаралья;

степень удовлетворения социально-экономических требований населения;

стоимость и окупаемость.

Анализ современного состояния Приаралья показал, что для создания устойчивого функционирующего природного комплекса необходимо решить три взаимосвязанные задачи.

1. Мероприятия в авандельте, связанные со строительством водоёмов на пресной воде, развитием товарного рыбопроизводства, создание водоёмов с минерализованной водой, в основном экологического назначения, мероприятия по созданию зон лесо- и фитомелиорации с целью закрепления песков, предотвращения выноса и деградации ландшафтов.

2. Мероприятия на осушенной части моря по созданию искусственных систем водоёмов на пресной воде для развития рыбопроизводства, на коллекторно-дренажной и сбросной воде для развития кормопроизводства, по созданию зон фитомелиорации (в т.ч. биоплато, зон повышенного увлажнения с целью подавления очагов

соле-, пылепереноса).

3. Мероприятия по возможному сохранению биопотенциала остатка моря или отдельных его частей с целью использования для жизнедеятельности людей.

Авторы предлагаемых проектов и организации, занимающиеся проблемами Арала, одобряют технические мероприятия для решения первой из задач по зоне Амударьи и Сырдарьи. По второй задаче имеются различные варианты решений как по северной, так и южной частям Приаралья в виде "антипольдеров", сплошных лагун, каскадных водоёмов, орошения опустынивающегося фона, фитомелиорации со спорадическим орошением и др. Так, раздел II.4 национального доклада Республики Узбекистан излагает суть комплекса мероприятий как по дельте р. Амударьи, так и останцу моря. По третьей задаче имеются очень маловероятные решения в виде восстановления Аральского моря или за счет переброски стока Каспийского моря, или частично направив всю воду в западную глубоководную часть, закрыв восточную, или в восточную, закрыв западную. Следует иметь в виду очень важную роль, выполняемую ранее Аралом, которую он должен выполнять и в будущем — роль солеприемника и соленакопителя всех сбросов по бассейну. Исходя из этого необходимо в мероприятиях по п. 13.6.3. предусмотреть данное обстоятельство. Это будет связано с дополнительным количеством воды, требуемым для определенной подачи стока в останец Арала и его распределения в акватории, равно как и с мероприятиями по недопущению выноса солей из указанной зоны.

Мероприятия по Приаралью в зоне дельты Амударьи имеют следующие решения по зонам. Первая экозона — дельта и прилегающая зона отгонного животноводства и отгонных пастбищ с Междуреченским водохранилищем как главным в распределении и управлении поддержанием дельты. Вторая экозона — зона защиты селитебных районов — Муйнак, Парлатау, Шега, Казахларья и др., их благоустройство, рекреация, улучшение социальных условий. Сюда входят водохранилища: Муйнакское, Рыбачий залив, Майпост, Дауткуль. Третья экозона прилегает к 53-метровой отметке — осушенная территория, на которой предполагается разместить систему водоёмов скалярного типа (ступенчатых) (ВСТ), питаемых пресными водами, или антипольдеров (по САНИИРИ), или лагун, или орошаемых земель (по Узводпроекту). Четвертая экозона — естественные и искусственные водоёмы, питаемые минерализованной или смешанной водой (Судочье, Алжибай, Жилтырбас, Каражарокая систе-

ма, Восточный Каратерень и др. Пятая экозона расположена между текущей границей моря и системой искусственно создаваемых озёр. Шестая экозона — в этой зоне рассматривается Аральское море в целом и отдельно восточная и западная части с различными источниками питания. Предполагается избыток речной воды в дельте и возможно воды, очищенной в водоёмах скалярного типа (ВСТ), направлять в западную глубоководную часть моря для рассоления в нём морской воды и вытеснения солёной воды через северную протоку в восточную часть моря. Расчеты показывают, что рассоление до 15 г/л будет происходить в течение 40 лет. В случае направления в восточную часть моря, предварительно отгороженную от западной путём устройства невысокой дамбы в соединяющей их протоке, имеющихся водных ресурсов не достаточно для сохранения существующего уровня, дефицит составит $20,2 \text{ км}^3$. Мероприятия 13.8, по поддержанию северной части Аральского моря и Приаралья разработаны Казгипроводхозом в виде восстановления Северного залива (Малое море), чтобы как можно ближе воссоздать естественные условия Аральского моря. Они предусматривают:

стабилизацию и поднятие уровня Малого моря за счет строительства перемычки в проливе Берга. Это позволит за счет увеличения глубины и снижения солености возродить рыбную отрасль, что, естественно, повысит занятость местного населения (рыбный промысел, рыбопроработка, судоремонт, обслуживание) и обеспечит район рыбной продукцией. Кроме того, уменьшение площади осушки дна моря и соле-, пылепереноса позволит улучшить условия в Приаралье: микроклимат, комфортная среда обитания;

реконструкцию дельты р.Сырдарьи. Это позволит стабилизировать водную обстановку в дельтовой части Приаралья, создать гарантированные уровни в озерах, будет способствовать восстановлению, охране и сбалансированному использованию биоресурсов;

увеличение пропускной способности р.Сырдарьи на участке от Чардаринского водохранилища до г.Казалинска. Это позволит обеспечить гарантированный объём воды в дельте р.Сырдарьи и Малом озере.

Учитывая, что Аральское море и Приаралье признаны самостоятельным водопотребителем в бассейне, одним из важнейших вопросов является определение этих требований и оценка возможного притока в устье обеих дельт. Если для северной части моря требования на воду определяются в размере $6-8 \text{ км}^3$, то для зоны Амударьи они колеблются от 8 до 25 км^3 . Возможные ресурсы для Сыр-

дарьи, включая дельту и природный комплекс, оцениваются 3,5–9 км³, для Амударьи – 4,5–30 км³ со средним значением соответственно 5 и 11 км³ пресных вод. Поэтому выбор наиболее реального и экономически эффективного варианта обводнения Приаралья очень важен для определения требований региона к использованию собственных водных ресурсов и соответственно ограниченно – располагаемых водных ресурсов для вододеления между независимыми сторонами.

Зона Приаралья в Казахстане, Узбекистане и Туркменистане – наиболее тяжелая в социально-экономическом плане. Исследования Всемирного Банка (1995 г.) показали, что здесь уровни национального дохода на душу населения в 1,5–2,5 раза ниже уровня средних государственных и зачастую ниже прожиточного минимума. Неблагоприятные социально-экономические и санитарные условия жизни отрицательно влияли на здоровье населения Приаралья. Уровень заболеваемости кишечными инфекциями среди населения в 3 раза превышает среднесоюзный. Поэтому программа "Здравоохранение и социальное развитие Приаралья" является одной из первоочередных в этой зоне, так же, как и мероприятия по улучшению социально-экономической обстановки:

экологическое и социально-экономическое оздоровление населенных пунктов;

подача чистой воды;

сельскохозяйственное водоснабжение и канализация Приаралья.

Для реализации и осуществления вышеуказанных мероприятий необходимо рассмотреть вопрос по управлению Приаралем. Сложившееся в регионе децентрализованное управление дельтами рек, давно показало себя недейственным, особенно в условиях нарастания дефицита водных ресурсов, что привело к катастрофическому положению дельт рек Сырдарьи и Амударьи. В этой связи назрела необходимость создания новой структуры – Службы управления системой дельт (СУД) как самостоятельной организации, ответственной за развитие, восстановление, поддержание и охрану Приаралья. Таким образом, должно быть централизованное управление всем природным комплексом дельт каждой реки. Эта организация должна носить комплексный межрайонный характер. В отношении ЕВР и Минводхозов республик они должны выступать как самостоятельный водопотребитель со своими требованиями и лимитами. С этой службой должны тесно взаимодействовать как государственные, так и негосударст-

венные организации (общественные комитеты по спасению Арала, экологическому благополучию ГРИНПИС" и т.д.), а также местные муниципальные органы (хакимияты).

Предложения Республик Туркменистана, Кыргызстана и Узбекистана по поддержанию Аральского моря и Приаралья можно свести к следующему:

1. Обеспечение всеми странами региона свободного транзита по трансграничным рекам недоиспользуемого лимита воды в Аральское море и Приаралье. Необходимо учесть санитарный попуск по двум основным рекам.

2. Прекратить сброс неочищенных коллекторно-дренажных бытовых, промышленных и других сточных вод в стволы рек с целью обеспечения качества воды в реках в предельно-допустимой концентрации.

3. Рассмотреть мероприятия по водосбережению во всех отраслях народного хозяйства, чтобы дать дополнительный объем воды для поддержания уровня Аральского моря и создания устойчивого экологического профиля в Приаралье.

4. Обоснование на следующем этапе проекта рационального сохранения уровня Аральского моря и создание экологически устойчивых зон в Приаралье.

Необходимо решить вопрос о подпитке Арала из других регионов.

По пунктам 1 и 3 имеется особое мнение Республики Таджикистан. Передача неиспользуемых частей лимита в распоряжение Арала и Приаралья всеми государствами не должна быть безвозмездной. Данный аспект должен быть предметом обсуждения на второй стадии проекта.

В.А.Николаенко

ПРОБЛЕМЫ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИК
ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

К числу наиболее актуальных проблем охраны окружающей среды от загрязнения на современном уровне относятся создание методологии и разработка способов и технических средств оперативного контроля и управления гидроэкологическим (ГЭ) состоянием поверхностных вод.

Конечным результатом взаимодействия человека с водными ресурсами в условиях промышленного и сельскохозяйственного производства является регулирование качества и в целом гидроэкологического состояния водных объектов. Это может быть осуществлено при условии функционирования системы, состоящей из двух взаимосвязанных блоков: контроля за гидроэкологическим состоянием водных объектов и его управлением. В каждом из этих элементов системы должны быть реализованы следующие звенья: получение информации — анализ информации и прогноз — принятие решения.

Очевидно, ГЭ состояние водных объектов может быть достаточно объективно оценено только при систематическом получении комплексной информации о ГЭ параметрах, характеризующих как состав биоты, так и окружающую её абиотическую среду обитания. В этом плане в республиках Центральной Азии в настоящее время ни одна существующая сеть наблюдений за состоянием водных объектов не проводит соответствующий контроль. Однако различными организациями ведутся наблюдения за отдельными ГЭ параметрами водных объектов: Главгидромет — для оценки степени загрязнения и экологического состояния природных вод; ММИВХ — для оценки качества воды для орошения; Минэнерго — с целью оценки агрессивности воды для агрегатов и теплоохлаждения; Санитарно-эпидемиологические службы Минздравов — для оценки качества воды для питьевого водопользования населения; Минжилкомхоз — с целью оценки качества водных объектов для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения; Минпром — для оценки качества воды для производственных целей; Госкомприроды — для определения степени загрязнения водных объектов промышленными и коммунально-бытовыми стоками.

Исходя из изложенного выше представляется актуальным решение проблем по разработке структуры ГЭ мониторинга, который должен осуществляться на базе следующих основных принципов: 1) необходимость получения многогранной и комплексной ГЭ информации, характеризующей целостность гидросистем; 2) признание того, что вода и водный объект как гидросистема имеет экономическое значение; 3) разработка подхода, предполагающего участие нескольких организаций (ведомств) в проведении ГЭ мониторинга по различным блокам и параметрам; 4) вся ГЭ информация должна поступать в "Информационный центр" и быть доступной для различных потребителей водного хозяйства и других заинтересованных организаций.

Исходя из этих принципов, определены основные задачи системы гидроэкологического мониторинга.

1. Систематические комплексные наблюдения за ГЭ состоянием водных объектов, их гидродинамическая, гидрологическая, гидробиологическая, микробиологическая, ихтиологическая, гидрохимическая оценка и прогноз абиотических и биотических последствий изменения, степени антропогенного воздействия.

2. Создание банка данных по ГЭ состоянию и качеству воды водных объектов республик Центральной Азии.

3. Обеспечение заинтересованных организаций систематической и оперативной ГЭ информацией.

4. Обеспечение компетентных организаций материалами для составления рекомендаций в области рационального использования родных ресурсов и охраны водной среды, а также для проектирования водохозяйственных сооружений и других работ.

Под "гидроэкологическим мониторингом" (ГЭМ) следует понимать организованную систему повторных наблюдений за параметрами водных объектов (гидросистем) для гидроэкологического информационного обеспечения (ГЭИО), направленного на оценку и прогноз их ГЭ состояния. Это согласуется с формулировками термина "мониторинг" и системой мониторинга антропогенных изменений природной среды, определяемыми рядом авторов [1, 2].

ГЭИО включает совокупность данных о количественном, качественном и динамическом состоянии компонентов гидросистем, их взаимосвязи с целью использования их для принятия мер по воспроизводству гидросред на современном уровне и в перспективе.

Разработанная структура ГЭ мониторинга базируется на полу-

чении информации по основным репрезентативным параметрам, характеризующим как абиотическое, так и биотическое состояние гидроэкосистем.

Обоснованием для выбора этих параметров послужили результаты научных исследований по взаимосвязи и взаимозависимости организмов различных трофических уровней и окружающей среды в гидроэкосистемах, а также по медико-биологической роли элементов в организме животных и человека [1, 3 - 5].

На базе понятия экологической модификации, связанного со степенью метаболизма биоценозов, оценивается состояние гидроэкосистем по трём градациям: 1) фоновое; 2) антропогенного экологического напряжения; 3) антропогенного метаболического регресса [6, 7]. Последнее связано в основном с тяжёлым загрязнением водных объектов токсичными веществами.

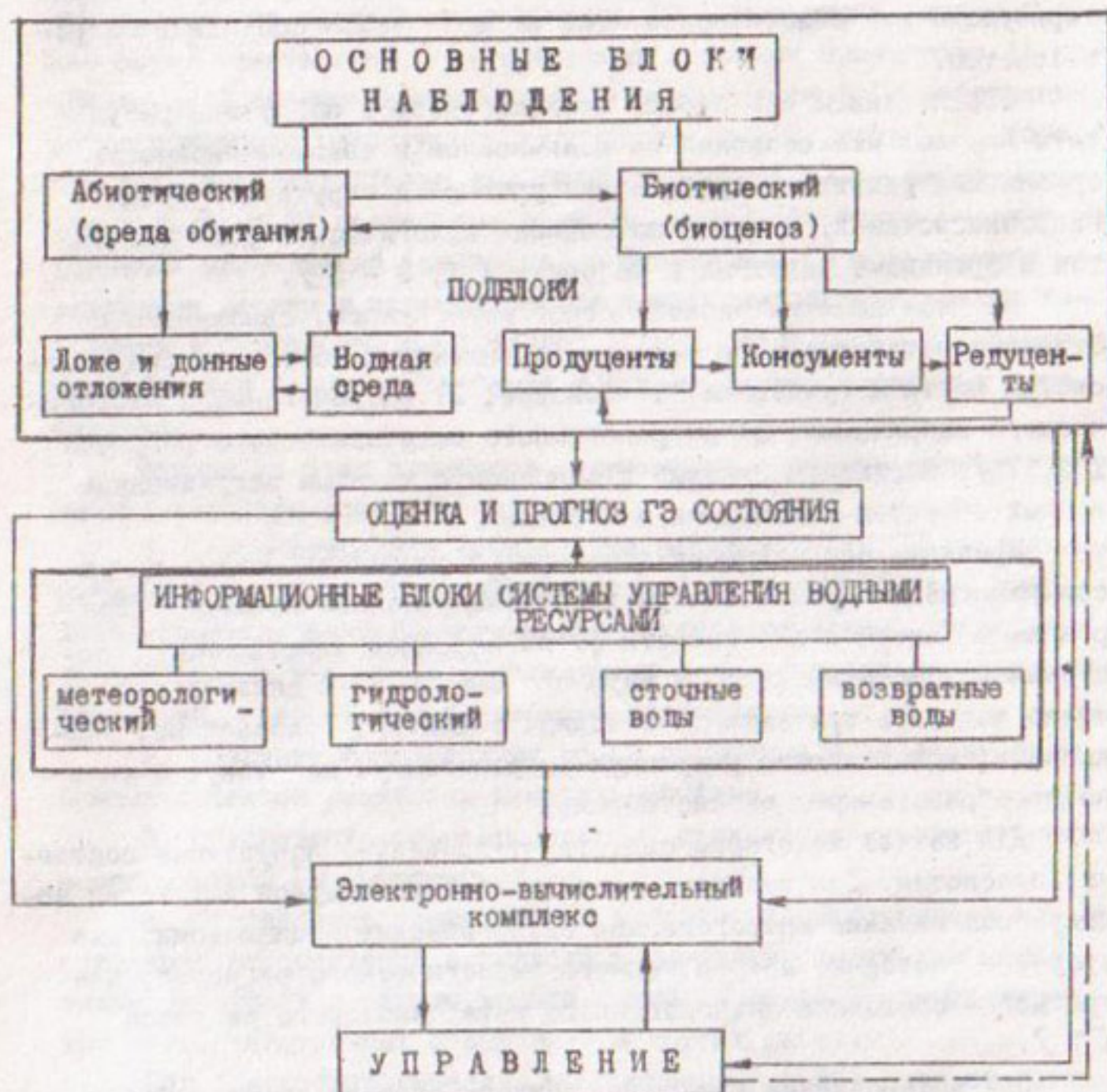
Проблема экологически допустимого состояния водных ресурсов рационально решается при дифференцированном подходе к природным объектам в зависимости от их народнохозяйственного, социального, эстетического и научного значения. В связи с этим можно выделить три категории водных объектов: заповедные, уникальные; испытывающие умеренную антропогенную нагрузку; с сильно преобразованными экосистемами.

Для каждой категории существуют предельно допустимые состояния экосистем. Для экосистем водных объектов первой категории недопустимы никакие антропогенные экологические модификации, для второй - состояние антропогенного экологического регресса, для третьей - состояние антропогенного метаболического регресса [7].

При установлении категории каждого водного объекта должны определяться экономический оптимум, включающий затраты на предупреждение экологических нарушений, и социальный, учитывающий социальные последствия ухудшения качества среды.

Рекомендуемый комплекс параметров в разработанной структуре гидроэкологического мониторинга отвечает оптимальным требованиям по получению информации как для оценки и прогноза гидроэкологического состояния водных объектов, так и для определения качества воды для различных целей народного хозяйства.

Приводим блок-схему системы гидроэкологического мониторинга.



В структуру ГЭ мониторинга включены два основных блока наблюдения: "Абиотический" и "Биотический". В состав первого входят два подблока: "Ложе и донные отложения" и "Водная среда". В первый подблок включены параметры наблюдения: 1) литологический состав берегов и донных отложений; 2) физико-химический состав донных отложений; 3) биотопы водоёма или водотока и состояние берегов, во второй – гидродинамические (глубина, объём и уровень водоёма, расход воды водотока, скорость течения воды) и гидрохимические (физико-химические, биогенные, органические, солевого состава, микроэлементов, загрязнённых компонентов и радиологические).

В состав "Биотического" блока входят три подблока: "Продуценты" (с параметрами: бактерии; фитопланктон; макрофиты); "Консументы" (зоопланктон; зообентос; ихтиофауна); "Редуценты" (бактерии; микомицеты).

В структуру ГЭ мониторинга входят также четыре информационных блока системы управления водными ресурсами: "Метеорологический" (с параметрами: осадки, испарение); "Гидрологический" (объём притока, объём стока); "Сточные воды" (с группой параметров, характеризующих промышленные и коммунально-бытовые сточные воды: физико-химический состав, объём сбросов в водоём или водоток); "Возвратные воды" (физико-химический состав коллекторно-дренажных вод и сбрасываемых с окружающей территории; объём сбросов в водоём или водоток).

Параметры информационных блоков, входящих в состав ГЭ мониторинга, не наблюдаются, а информацию о них получают из других мониторингов и используют для решения задач, связанных с оценкой и прогнозом ГЭ состояния и качества воды водных объектов и последующего управления ими.

Для оценки ГЭ состояния следует проводить наблюдения в зависимости от категории водных объектов в основном за 60-70 репрезентативными параметрами, а для оценки качества вод, используемых для различных целей народного хозяйства, – за 50 параметрами.

Следует отметить, что наблюдения за загрязнённостью поверхностных водных ресурсов Главгидрометами ЦАР не решают полностью задачи рекомендованного нами ГЭ мониторинга. Мониторинг загрязнения решает задачи лишь части подблоков: "Наблюдение" и "Оценка фактического состояния водной среды", т.е. фактически являет-

ся составной частью ГЭ мониторинга.

Оценка на современном уровне и прогноз ГЭ состояния водных объектов, требование оперативности этого процесса для принятия и решения различных управленческих мероприятий определяют наличие в составе ГЭ мониторинга электронно-вычислительного комплекса с базой данных, пакетами прикладных программ по обработке информации, выдачей её потребителю в требуемые сроки и форме по необходимым параметрам.

Таким образом, для выполнения задач ГЭ мониторинга с целью оперативного контроля за ГЭ состоянием поверхностных водных ресурсов требуется в ближайшей перспективе решить следующие основные проблемы во всех республиках Центральной Азии на региональном и национальных уровнях.

1. Провести инвентаризацию всех водных объектов и юридически утвердить их статус по экологическим категориям.

2. Разработать для каждой категории водоёмов "Межреспубликанскую программу ГЭ мониторинга", включающую основные репрезентативные параметры наблюдений и технические средства для получения, обработки и выдачи потребителям ГЭ информации.

3. Создать "Республиканские информационные центры" с электронно-вычислительным комплексом и согласовать условия взаимопередачи ГЭ информации между всеми республиками Центральной Азии.

4. Внутри каждой республики определить организации (ведомства) со статусом ответственных исполнителей по проведению ГЭ мониторинга на определенных водных объектах с утвержденной для них "Программой мониторинга" и созданием в этих учреждениях "Ведомственных информационных центров" для сбора, хранения, обработки данных и передачи получаемой информации в "Республиканские информационные центры".

5. Выработать единую для всех республик информационную документацию (шаблоны) для "Банка данных", единую методику оценки и прогноза ГЭ состояния водных объектов различных категорий, единые ПДК для оценки качества воды и единые информационные отчетные документы для потребителей.

6. Создать "Региональный (межгосударственный) информационный центр" для сбора, хранения и обработки ГЭ информации со всех республик Центральной Азии, охватывающей водные ресурсы всего бассейна Аральского моря.

Список использованной литературы

1. Герасимов И. П., Израэль Ю. А., Соколов В. Е. Научные основы современного мониторинга окружающей среды // Изв. АН СССР, сер.геогр. 1975. № 3. С.13-15.
2. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеиздат, 1984. С.328.
3. Войнар А. О. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. М.: Сов.наука, 1953. С.38-62.
4. Хендерсон - Селлерс Б., Марклэнд Х. Р. Умирающие озера // Причины и контроль антропогенного эвтрофирования. Л.: Гидрометеиздат, 1990. С.279.
5. Альпинер Л. И. Современные медико-биологические подходы к оценке химического состава питьевой воды // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. М.: Наука, 1989. С.98-133.
6. Посохов Е. В., Родионова Л. М. О влиянии растительности на ионный состав природных вод // Современные проблемы региональной и прикладной гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1987. С.45-61.
7. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. д-ра биол. наук В.А.Абакумова. Мин. экологии и природных ресурсов Российской Федерации, Росс. АН, ин-т Глобального климата и экологии. С-П: Гидрометеиздат, 1992. С.318.

Х.А.Исмагилов

РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ НА Р.АМУДАРЬЕ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РЕЧНОЙ ПОТОК

В связи с ростом орошаемой земли и населения в бассейне р.Амударьи увеличилось потребление воды. В настоящее время в среднем и нижнем течении из р.Амударьи забирают воду для орошения более 60 крупных, средних и малых каналов: Каракумский - с расходом более $600 \text{ м}^3/\text{с}$; Каршинский с максимальным расходом $250 \text{ м}^3/\text{с}$, Аму-Бухарский - $400 \text{ м}^3/\text{с}$, Ташакинский - $500 \text{ м}^3/\text{с}$; Пахта-арнинский - $200 \text{ м}^3/\text{с}$; Клычниязбай - $200 \text{ м}^3/\text{с}$; Кызкеткен - $500 \text{ м}^3/\text{с}$; Лениняб - $300 \text{ м}^3/\text{с}$ и др. [1,2,4].

В верховье р.Амударьи на главном притоке действует Нурекское водохранилище многолетнего регулирования стока, в низовье на расстоянии 450 км от устья построено Тюямузское водохранилище, 215 км - Тахиаташский гидроузел, 70 км - Междуреченская дамба. Ниже Тюямузского водохранилища на длине 185 км русло реки зарегулировано двухсторонними продольными и поперечными дамбами. Эти и другие мероприятия внесли существенные изменения в динамику русловых процессов как в летний, так и в зимний периоды, в результате чего на р.Амударье во многих местах ухудшилась русловая обстановка, наблюдаются размывы и подтопления прибрежных земель, населенных пунктов и др.

Для оценки состояния русла р.Амударьи под влиянием водозабора и сооружений проанализированы продольный профиль от Келифа до Аральского моря и отношение $B/H_{\text{ср}}$ - ширины русла по урезу воды к средней глубине потока, характеризующего изменчивость поперечного профиля русла [3, 5].

Продольный профиль русла р.Амударьи от Келифа до Аральского моря длиной 1200 км приведен на рис. 1. Сплошной линией обозначен профиль русла при бытовом состоянии, пунктирной - после частичного регулирования стока и русла.

При бытовом состоянии на преобладающей длине от Келифа до Тюямузья уклон водной поверхности одинаковый - $i = 0,0002 - 0,00025$. Нагрузке потока, т.е. транспорт наносов на этом участке примерно также одинаковый. Ниже Тюямузья уклон уменьшается и крупность песчаных наносов резко снижается. Уклон реки у

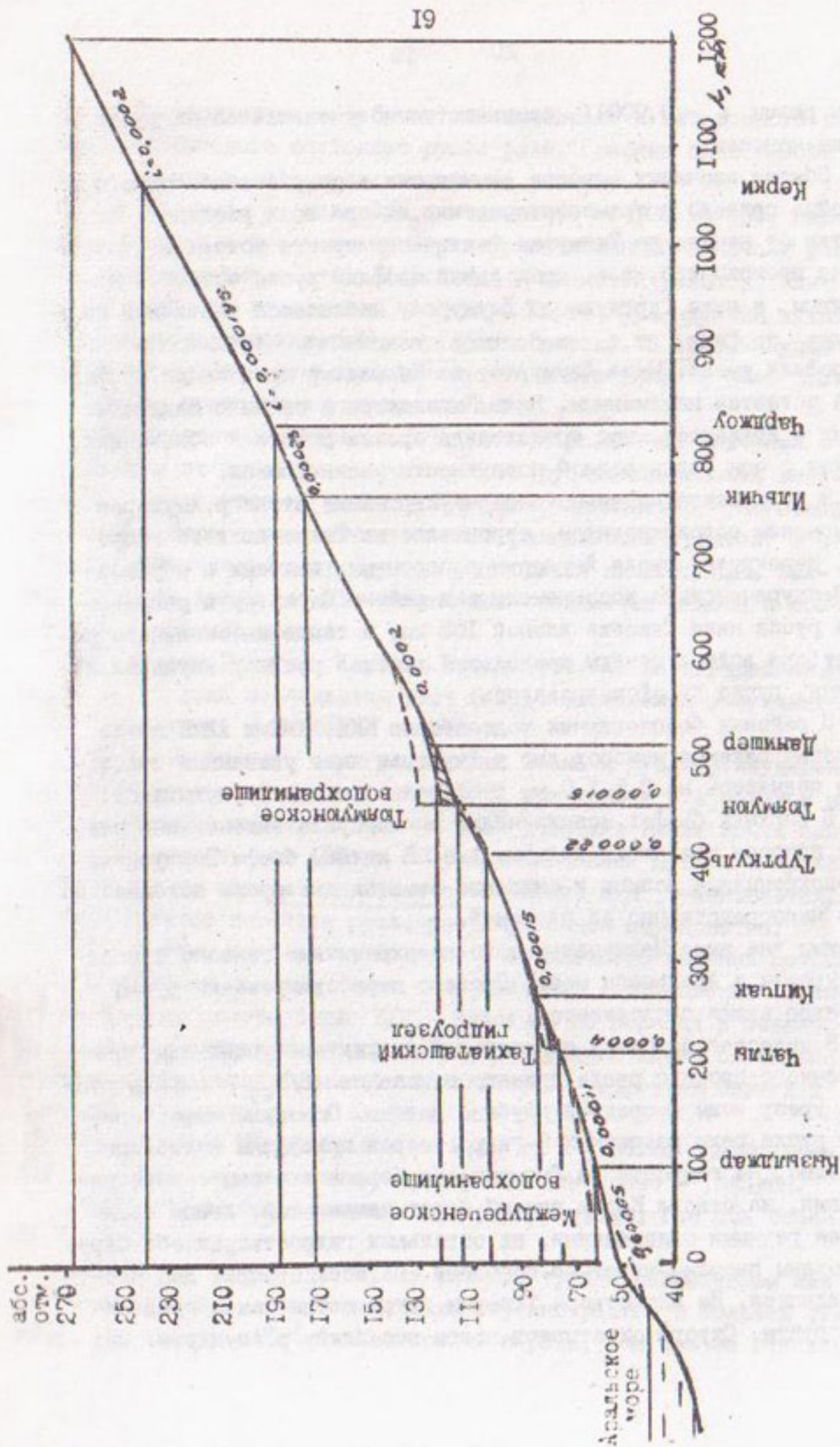


Рис. 1. Продольный профиль р. Амударьи на участке Келиф-Аральское море.

Чатлы равен $\bar{L} = 0,00011$, соответственно уменьшается нагрузка потока наносами.

Обилие песчаных наносов, выносимых в реку с водосборного бассейна привело к транспортированию их при всех расходах. На участке от начала до Тюмюна фактически врезки потока в отложения не происходило, т.е. продольный профиль русла остается неизменным, а ниже Турткуля до Джумуртау наблюдался частичный подъем дна профиля, т.е. небольшое изменение продольного профиля русла. Ниже Джумуртау до Кызылджар продольный профиль русла остается неизменным. Ниже Кызылджара в связи с падением уровня в Аральское море происходила врезка потока в обнажения, в связи с чем уклон водной поверхности увеличивался.

В результате частичного зарегулирования стока р. Амударьи Тюмюунским водохранилищем, строительства Тахиаташского гидроузла, перекрытия русла Амударьи поперечными дамбами и образования Междуреченского водохранилища в районе Парлатау и регулирования русла ниже Ташсака длиной 185 км, а также интенсивного роста отбора воды в каналы продольный профиль русла р. Амударьи изменился, русло переформировалось.

В районах бесплотинных водозаборов ККК, КМК и АМК из-за нарушения баланса наносов дно р. Амударьи ниже указанных водозаборов поднялось на 0,5–1,0 м, русловая обстановка ухудшилась.

В верхних бьефах водохранилищ и гидроузла интенсивное отложение наносов привело к подъему дна. В нижнем бьефе Тюмюунского водохранилища размыв и снижение отметок дна русла доходило до 3,0 м непосредственно за плотиной.

Снижение дна ниже Междуреченского водохранилища связано с падением уровня в Аральском море. Процесс переформирования русла в настоящее время продолжается.

В качестве основных показателей, характеризующих изменение поперечного профиля русла принято отношение B/H_{cp} – ширины русла по урезу воды к средней глубине потока. Основные характеристики русла реки изученных 5 гидростворов приведены в таблице. Как видно, на гидростворе Тюмюун оба берега сложены скалистыми породами, на створе Керки правый берег каменистый, левый представлен речными отложениями, на остальных гидростворах оба берега сложены песчано-илистыми породами. Во всех створах дно песчано-илистое. На дне створа Тюмюун встречаются также гравелистые грунты. Створы охватывают почти всю длину р. Амударьи. Зна-

чения $V/H_{\text{ср}}$ приведены в таблице для меженного и паводочного периодов для бытового состояния русла реки. Графики зависимости $V/H_{\text{ср}}$ от расхода воды представлены на рис. 2.

При меженном расходе $V/H_{\text{ср}}$ изменяется от 100 до 650, наибольшие значения имеет створ Керки, расположенный в начале участка, а наименьшие – створ Кызылджар – концевой участок. Наибольшая мутность отмечается на створе Керки. При наличии мутности размыв дна усложняется из-за роста потока. В таком случае поперечный профиль русла увеличивается в основном за счет роста ширины, что приводит к увеличению $V/H_{\text{ср}}$.

Для паводочного периода $V/H_{\text{ср}}$ имеет различные значения в зависимости от геологического строения русла. Наибольшая величина $V/H_{\text{ср}}$ приходится на участок Турткуль, наименьшая – на створ Кызылджар. Берега их состоят из легкоразмываемых грунтов. В отличие от Кызылджар створ Турткуль находится ниже теснины Тюямун, где во время паводка интенсивно осаждаются наносы и происходит блуждание потока.

В створах Тюямун, Керки и Чатлы (рис. 2) до определенного значения расхода наблюдается рост $V/H_{\text{ср}}$, дальнейшее увеличение его способствует уменьшению значений.

После частичного зарегулирования стока и русла р. Амударьи амплитуда колебаний соотношения $V/H_{\text{ср}}$ при межени и в паводок ниже Тюямунского водохранилища на всех участках имеет почти одинаковые значения – от 100 до 300. С уменьшением мутности происходит врезание потока в русло и соотношение $V/H_{\text{ср}}$ уменьшается. На этот процесс повлияли русло-регулирующие мероприятия.

Для оценки степени свободного и стесненного течения потока при прохождении паводка подсчитаны значения коэффициента K , характеризующего соотношение $V/H_{\text{ср}}$ паводкового периода к меженному. В период межени на всех створах р. Амударьи имеет свободное течение потока независимо от геологического строения берега и зарегулированности русла (таблица).

Коэффициент K колеблется от 0,46 до 4 и более. Наибольшее значение отмечено для створа Турткуль, наименьшее – Тюямун.

Наибольшее стеснение наблюдается на створе, где оба берега скалистые.

В створах реки, где берега сложены трудно размываемым или скальным грунтом, в период паводка глубина растёт в большей степени, чем ширина и $K < 1$. Чем крепче порода, тем больше степень

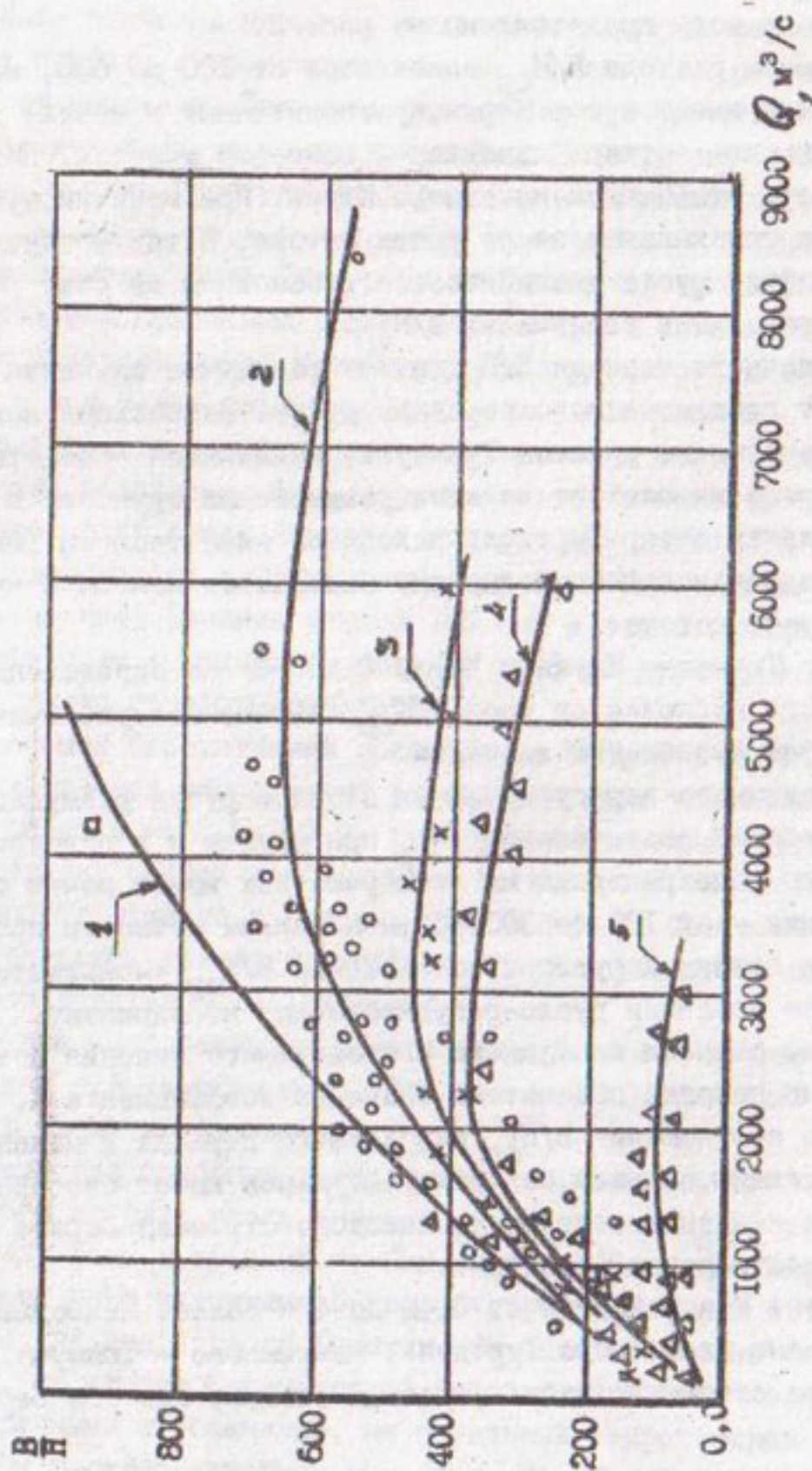


Рис. 2. Графики связи $V/H = f(Q)$ для р. Амуларь:
 1 - Туртукуль; 2 - Керки; 3 - Чатлы (Саманбай);
 4 - Тоямун; 5 - Кызылжар.

Характеристика берега и ложа, а также значение для гидрологических станций р. Амударьи (для бытового состояния)

Гидрологическая станция	Расст. от устья, км	Характеристика		В/ч		К
		берегов	ложа	меньше	паводок	
Керки	1060	Правый каменистый, левый представлен речными отложениями	Песчано-илистое	600	430	0,72
Тюямун	440	Крутые, скалистые	Каменистое	430	200	0,46
Турткуль	360	Правый сложен глиной, песками и суглинками	Песчано-илистое	360	1600	4,3
Чатлы	215	Сложены песчано-илистыми отложениями	" "	300	400	1,3
Кызылджар	90	Высотой 2,5-3 м, сложены песчано-илистыми отложениями	" "	100	100	1,0

стеснения и меньше значение K .

В створах реки, где берега из легкоразмываемого грунта, в период паводка изменение ширины по сравнению с глубиной больше и значение $K > 1$. Чем слабее грунт, слагающий берега русла, тем больше значение K .

Коэффициент K после частичного зарегулирования стока и русла колеблется от 1 до 2,0 в меньшей степени, чем бытовое состояние (0,45–4,3).

Анализ показал, что русловой процесс при бытовом состоянии изменяется в основном за счет плановой деформации, после частичного зарегулирования стока усилилась глубинная деформация, что привело к размыву на одних участках и подъёму дна – на других.

Список использованной литературы

1. Ш у л ь ц В. Л. Реки Средней Азии. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 692 с.
2. Л а п ш е н к о в В. С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 240 с.
3. Р ж а н и ц и н Н. А. Руслоформирующие процессы рек. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 264 с.
4. И с м а г и л о в Х. А. Русловые процессы на Амударье при частичном регулировании стока. Четвертая конференция "Динамика и термика рек, водохранилищ, внутренних и окраинных морей" // Тезисы докладов. Т. I. М., 1994. С. 239–241.
5. К о н д р а т ь е в Н. Б., П о п о в И. В., С н и щ е н - к о Б. Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 272 с.

УДК 556.535(262.83)

И.Б.Рузиев, А.Р.Расулов,
Ф.Х.Хикматов, Б.Е.Аденбаев

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ РЕЧНЫХ ВОД В ДЕЛЬТУ АМУДАРЬИ

Снижение уровня Аральского моря и связанные с ним всевозрастающие отрицательные экологические последствия в Приаралье — результат забора значительного объема речных вод для нужд различных отраслей народного хозяйства [1]. Несмотря на всестороннее изучение всех аспектов данной проблемы, многие вопросы до сих пор остаются нерешенными, в частности исследование динамики поступления речного стока в дельту Амударьи еще до начала снижения уровня Аральского моря и её современного положения. Изучению этой задачи и посвящена данная работа.

Основными исходными материалами послужили данные стандартных наблюдений за стоком р.Амударьи, учтенные на гидрологических станциях, расположенных по её длине. Использованы также сведения из справочников "Ресурсы поверхностных вод..." и различные картографические материалы.

Принято считать [2, 3], что начало современной дельты Амударьи находится на широте г.Нукуса, теснины Тахиаташ. Так, В.Л.Шульц [3] за начало дельты принимает место, где начинаются значительные разливы створа Тахиаташ. Согласно З.М.Акрамову, А.А.Рафикову [2], современная дельта Амударьи расположена к северу от линии, соединяющей мыс Тахиаташ с восточной оконечностью отрога плато Устюрт, к югу от этой линии находится Прикаракамышская дельта. Западная граница проходит по восточному чинку Устюрта до Арала, восточная — по правому берегу Куанишдакы. В пределах указанных границ площадь дельты около 19 тыс км² [4, 8].

Анализ показал, что размещение постов по длине реки крайне неравномерно, что наблюдается также в периодах наблюдений за стоком воды. По ряду обстоятельств некоторые посты имеют значительные перерывы в измерениях стока (Карки, Данилер, Телямули, Каракамышташ и др.). В большинстве случаев они восстановлены общепринятыми способами [2]. Несмотря на отмеченные недостатки, материалы многолетних наблюдений выбранных шести гидрологических

станций (Керки, Дарган-ата, Тоямуш, Кипчак, Чатлы (Саманбай), Кызылджар) послужили основой для ряда обобщений по количественной оценке поступления речных вод в дельту до начала и за период интенсивного снижения уровня Аральского моря [5].

Приток воды в дельту Амударьи и её динамика могут быть установлены по данным гидрологической станции у створа Чатлы Главгидромета Республики Узбекистан, так как здесь имеется наиболее надёжный и сравнительно продолжительный ряд наблюдений за стоком воды [6].

Отметим, что наблюдения за стоком р. Амударьи по створу Чатлы включают данные по 1973 г. С марта 1974 г. в связи со строительством и вводом в действие Тахиаташского гидроузла приток воды в дельту начал фиксироваться в створе Саманбай, открытом в 15 км ниже створа Чатлы. Между створами Чатлы и Саманбай расположено два насосных водозабора, расход которых в летние месяцы достигает 25–30 м³/с. Таким образом, для характеристики многолетних и сезонных колебаний притока воды в дельту Амударьи имеется достаточно длительный ряд наблюдений.

Материалы исследований за стоком воды в створе Чатлы могут охарактеризовать естественный режим реки в нижнем течении до 1960 г. За этот период водозабор на участке Керки–Чатлы был практически постоянным (10–15% стока у г. Керки), с 60-х годов он резко увеличился. С учетом этого весь период наблюдений на выбранных гидростворах разделен на: 1) условно естественный (1931–1960 гг.) и 2) усиленного антропогенного влияния на сток р. Амударьи (1961–1995 гг.).

За это время в отдельности рассчитаны средний многолетний расход воды ($\bar{Q}$), объём стока ($\bar{W}$), а также вычислены среднеквадратическое отклонение от нормы (σ) и коэффициент изменчивости (вариации) гидрологического ряда (C_v). Эти параметры за первый период определены по данным трёх гидрологических станций (Керки, Тоямуш, Чатлы), за второй – по данным всех выбранных шести станций. В результате установлено, что за второй период значения стоковых характеристик ($\bar{Q}$, $\bar{W}$) резко уменьшаются по сравнению с первым, а другие статистические параметры (σ , C_v) увеличиваются.

По данным станции Чатлы, среднемноголетний за 1931–1960 гг. приток воды в дельту составляет 1504 м³/с, или 47,4 км³. Принятый расчетный период включает как многоводные (1934, 1952, 1953,

1954), так и маловодные (1940, 1947, 1951, 1957) годы. Ввиду малой изменчивости годового стока Амударьи полученная величина поверхностного притока воды в дельту за условно естественный период близка к рассчитанной другими авторами [3, 4, 7] и достоверность её не вызывает сомнения.

Расчеты и их анализ показали, что общая закономерность многолетних колебаний притока воды в дельту, определяемая метеорологическими причинами при относительном постоянстве водозабора, оставалась стабильной примерно до конца 50-х годов. Начиная с 60-х годов величина поверхностного притока воды в дельту начала довольно интенсивно уменьшаться в связи с активизацией водозабора из Амударьи.

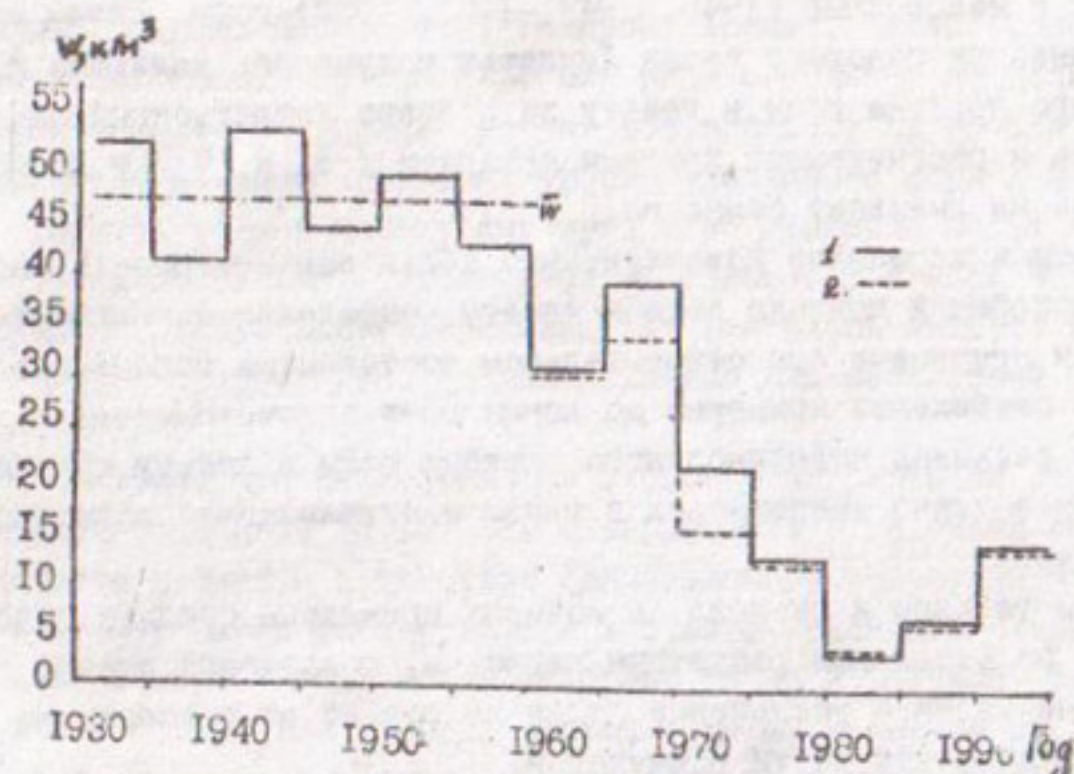
Данные таблицы и рисунка, в которых приведены средние годовые объёмы по отдельным расчетным периодам, показывают значительное и неуклонное уменьшение стока не только во времени, но и по длине дельтовой части р. Амударьи.

Так, средний годовой приток воды в створе Чатлы за 1961-1970 гг. составил 1135 м³/с, или 35,8 км³, что на 24,5% меньше, чем за условно естественный период (1931-1960 гг.) (таблица). В связи с резким увеличением орошаемых площадей и связанного с этим водозабора в ирригационные каналы в следующем десятилетнем периоде (1971-1980 гг.) приток речных вод в дельту сократился до 17,5 км³ в её верхней (створ Саманбай) и до 14,2 км³ в средней (створ Кызылджар) частях.

Динамика поступления речных вод в дельту Амударьи
по расчетным периодам

Пункт наблюдений	Расстояние от устья, км	Расчетный период				
		1931- 1960гг.	1961- 1970гг.	1971- 1980гг.	1981- 1990гг.	1991- 1995гг.
Чатлы	230 *	47,4	35,8	-	-	-
Саманбай	215	-	-	17,5	5,3	14,4
Кызылджар	102	-	32,6	14,2	5,2	13,9

* За расстояние от устья приведены данные по снижению уровня Аральского моря.



Динамика поступления речных вод в дельту Амударьи;
1 - Чатлы (Саманбай); 2 - Кзылжар.

Аналогичная картина наблюдается и по пятилетним расчетным периодам. За 1991-1995 гг. отмечается тенденция к увеличению притока воды в дельту, и средний годовой объем воды за это время составил $14,4 \text{ км}^3$.

Наименьший приток ($3,8 \text{ км}^3$) речных вод в дельту в 1981-1985 гг. по сравнению с объемом условно естественного периода ($47,4 \text{ км}^3$), составляет всего 8%.

Таким образом, расчеты и их анализ показали относительно стабильную динамику притока речных вод в дельту Амударьи до конца 50-х годов, а выявленные некоторые её колебания за этот период в основном определяются метеорологическими причинами. Начиная с 60-х годов приток поверхностных вод в дельту начал довольно интенсивно уменьшаться и его наименьшие значения относятся к первой половине 80-х годов.

Список использованной литературы

1. Д у х о в н ы й В. А. и др. Проблемы Аральского моря и природо-охранные мероприятия // Проблемы освоения пустынь. 1984. № 6. С.5-12.
2. А к р а м о в З., Р а ф и к о в А. Прошлое, настоящее и будущее Аральского моря. Ташкент: Мехнат, 1990. 144 с.
3. Ш у л ь ц В. Л. Реки Средней Азии. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 691 с.
4. Л у к и н а Н. К. Трансформация стока воды в дельте Амударьи // Современная дельта Амударьи. ТашГУ, 1983. С.36-42.
5. Р а с у л о в А. Р., Х и к м а т о в Ф. Х. Орол денгизи ҳавзаси дарёлари сув ва муаллақ оқиқиқлари оқимининг антропоген омиллар таъсирида ўзгариши // Ўз Р И Ж ИУ съезд материаллари, I қисм, 1995. С.61-65.
6. Н и к и т и н А. М., Б о н д а р ь В. А. О динамике озёр дельты р.Амударьи // Тр. САРНИТМИ. Вып. 25 (106). 1975. С.12-15.
7. Р о г о в М. М. Гидрология дельты Амударьи. Л.: Гидрометеиздат, 1957. 256 с.
8. А л и м у х а м е д о в И. Р., А р х и п о в В. А. О динамике гидрографической сети дельты Амударьи // Тезисы докладов на съезде Географического общества Узбекской ССР. Ташкент: Фан, 1980. С.57-58.

Последние движутся по закруглению и испытывают действие центробежной силы [1]

$$F_1 = \frac{m V^2}{r}, \quad (1)$$

направленной по радиусу от центра кривизны, и действие силы тяжести

$$F_2 = m g, \quad (2)$$

направленной вертикально вниз.

Здесь m — масса частицы жидкости;
 V — продольная скорость движения частицы;
 r — радиус кривизны траектории движения частицы жидкости.

В результате векторного сложения сил F_1 и F_2 их равнодействующая отклоняется от вертикального направления силы тяжести (рис. 1, б) на некоторый угол β . Величина этого угла определяется из условия

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{F_1}{F_2} = \frac{V^2}{g r}. \quad (3)$$

Если продольная скорость движения частиц для всех точек вертикали (соответствующих одинаковому значению) одинакова, то в поперечном сечении потока должны образоваться линии равного давления, нормальные направлению равнодействующей и, следовательно, образующие с горизонтальной поверхностью во всех точках вертикали угол β .

Наивысшее расположение из указанных занимает линия пересечения вертикальной поверхности поперечного сечения потока с его свободной поверхностью. Следовательно, свободная поверхность потока, движущегося криволинейно, должна быть наклонена к горизонту, т.е. иметь на рассматриваемой вертикали поперечный уклон в направлении оси вращения, определяемый условием

$$J_z = \operatorname{tg} \beta. \quad (4)$$

Этот поперечный уклон создаёт на гранях бесконечно малого элемента жидкости $dz \cdot r \cdot d\beta$, нормальных радиусу поворота " r " разницу горизонтального давления —

$\Delta p = \gamma dz z d\beta J_z dz$. Более подробно $F_1 = \gamma dz dz \cdot z d\beta \frac{V^2}{g}$, тогда из условия $\Delta P = F_1$ легко получим формулу (4).

Однако одинаковость продольной скорости движения частиц во всех точках вертикали может отмечаться лишь в случае течения потока "идеальной" жидкости или вращения жидкости вместе с сосудом около вертикальной оси.

В реальных потоках продольные скорости течения изменяются по глубине вертикали, увеличиваясь от дна к свободной поверхности воды. Следовательно, центробежная сила, действующая на частицы воды, движущейся по закруглению на рассматриваемой вертикали с постоянной величиной радиуса поворота " z ", должна возрастать в направлении от дна к поверхности воды (рис. 2, б).

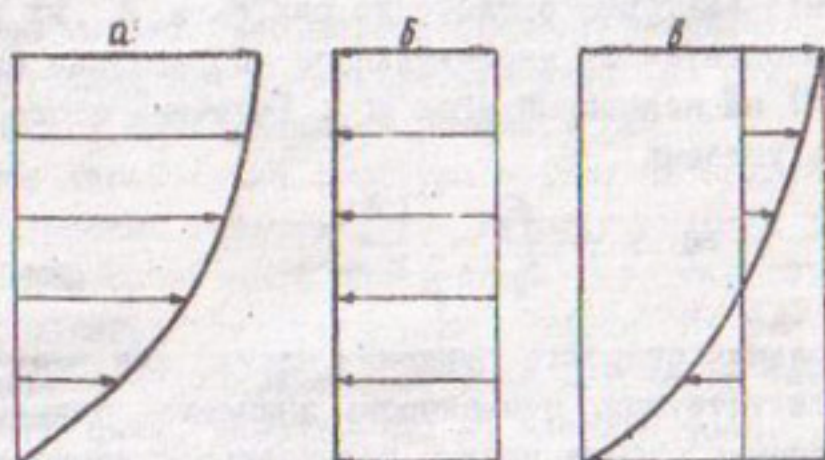


Рис. 2. Схема сложения поперечных сил, вызывающих циркуляцию:

а - эпюра центробежной силы, действующей на частицы; б - эпюра разницы горизонтального давления под действием поперечного уклона водной поверхности; в - результат сложения эпюр а и б.

Поперечный уклон свободной поверхности воды на вертикали в этом случае следует определять, как среднюю арифметическую величину $\text{tg} \beta$ для всех точек вертикали, что приводит к формуле

$$J_z = \int_0^L \text{tg} \beta dz = \int_0^L \frac{V_z^2}{g z} dz = \frac{V_{cp}^2}{g z} . \quad (5)$$

Используя формулу (5), определим величину дополнительного напора воды у вогнутого берега ($\Delta h_{\text{доп}}$), образуемого за счет

поперечного уклона. Общее превышение уровня воды у вогнутого берега над уровнем воды у выпуклого Δh равна

$$\Delta h = J_z \cdot B_{II}, \quad (6)$$

где B_{II} — ширина русла на криволинейном участке в створе II (рис. 3).

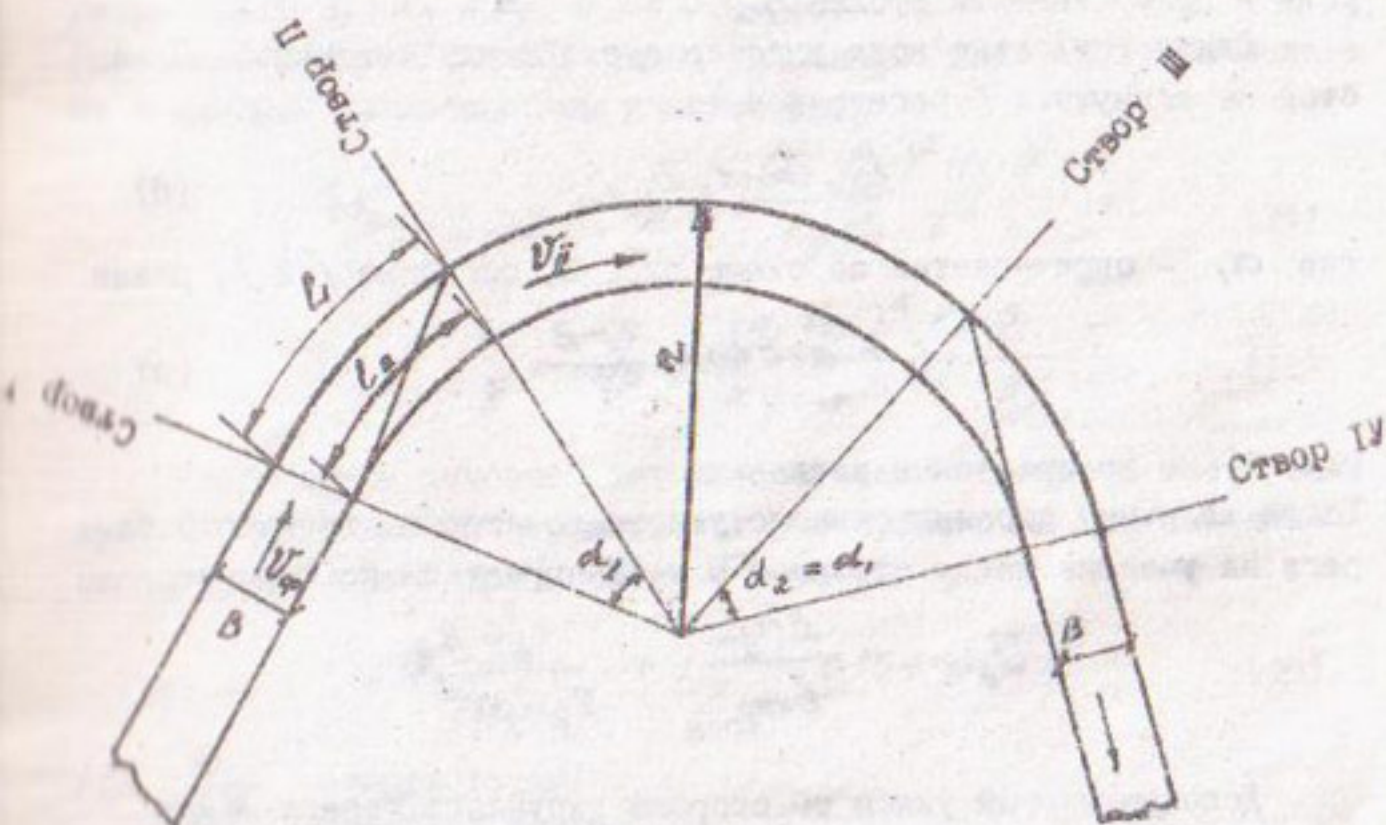


Рис. 3. Расчетная схема определения критериев беззаторного и беззажорного пропуска льда на участках с криволинейным руслом.

Тогда, принимая поперечный уклон постоянным по ширине русла, а ось вращения свободной поверхности воды "D", расположенной посередине русла реки (рис. 1), получим

$$\Delta h_{гон} = \frac{\Delta h}{2} = \frac{J_z \cdot B_{II}}{2} \quad (7)$$

Повышение уровня воды у вогнутого берега и понижение его у выпуклого на криволинейном участке реки изменяет величину продольного уклона. Со стороны вогнутого берега на криволинейном участке между створами I и II уровень водной поверхности по-

нижается по сравнению с уклоном воды на прямолинейном участке за счет дополнительного напора $\Delta h_{дон}$, а затем на участке между створами III и IV увеличивается на эту же величину.

Участок II-III с установившимся криволинейным течением [2]. Со стороны выпуклого берега, наоборот, продольный уклон повышается на участке I-II и понижается на участке III-IV. Ниже створа IV уклоны стабилизируются и принимают значения продольного уклона реки в прямолинейном русле J_{p2} .

Длина криволинейного участка русла между створами I-II со стороны вогнутого берега равна

$$l_{кр} = \alpha_1 z, \quad (8)$$

где α_1 - определяется по схеме рис. 3, согласно [2], равен

$$\alpha_1 = \arccos \frac{z-B}{z}, \quad (9)$$

где α_1 - измеряется в радианах.

Тогда величину дополнительного уклона со стороны вогнутого берега на участке между створами III и IV определим по формуле

$$J_{дон1} = \frac{\Delta h_{дон}}{l_{кр\text{вогн}}} = \frac{V_{II}^2 \cdot B_{II}}{2g\alpha_1 \cdot z^2}. \quad (10)$$

Дополнительный уклон со стороны выпуклого берега между створами I и II определим по формуле (рис. 3)

$$J_{дон2} = \frac{\Delta h_{дон}}{l_{кр2}} = \frac{V_{II}^2 \cdot B_{II}}{2g\alpha_1 \cdot z(z-B)}. \quad (11)$$

Общий продольный уклон на участке III-IV со стороны вогнутого берега равен

$$J_{об\text{вогн III-IV}} = J_p + J_{дон1} = J_p + \frac{V_{II}^2 \cdot B_{II}}{2g\alpha_1 \cdot z^2}. \quad (12)$$

Общий продольный уклон на участке I-II со стороны выпуклого берега равен

$$J_{об\text{вып I-II}} = J_p + J_{дон2} = J_p + \frac{V_{II}^2 \cdot B_{II}}{2g\alpha_1 \cdot z(z-B)}. \quad (13)$$

Известно, что морфологические параметры русла и гидравлические параметры потока изменяются по длине криволинейного участка. Натурные исследования А.Аширова на дейгишном участке р.Амударьи в створе гидропоста Ильчин (1971-1972 гг.) показали, что отклонение средней скорости потока в створе дейгиша II к средней скорости потока на прямолинейном подходном участке I равно $K_1 = V_{II} / V_{cp} = 0,5-0,6$. Отклонение ширины русла на дейгишном участке к ширине русла на подходном прямолинейном выразим через $K_1 \cdot K_2 = B_{II} / B = 0,6-0,8$. Выразим формулу (12 и 13) через гидравлические параметры потока на подходном прямолинейном участке реки

$$J_{об\text{ваги II-II}} = J_p + \frac{(K_1 V_{cp})^2 K_2 \cdot B}{2g \alpha_1 \cdot z^2}, \quad (14)$$

$$J_{об\text{вып I-II}} = J_p + \frac{(K_1 V_{cp})^2 K_2 \cdot B}{2g \alpha_1 \cdot z(z-B)}. \quad (15)$$

Необходимым условием заторообразования является вовлечение шуговых скоплений под кремку, которое происходит при значениях числа Фруда больше критических [3]

$$Fr = \frac{V_{cp}}{\sqrt{g H_{cp}}} \geq Fr_{кр} = 0,154 \sqrt{1 - \frac{\xi}{\gamma}}, \quad (16)$$

где V_{cp} - скорость, м/с;
 H_{cp} - глубина потока, м;
 ξ - пористость шуговых образований;
 g - ускорение свободного падения, м/с².

В зависимости от пористости шуговых образований ξ изменяется от 0,08 до 0,15.

Из условия (16) определяется критическое значение уклона, характеризующего место образования затора льда. Согласно [3], затор формируется при

$$J_{об} \leq J_{кр, затор}, \text{ где } J_{кр, затор} = 0,05 \text{ ‰}. \quad (17)$$

Так как $J_{об\text{ваги II-II}} < J_{об\text{вып I-II}}$, получаем условие заторообразования

$$J_p + \frac{K_1^2 K_2 \cdot V_{cp} B}{2g \alpha_1 \cdot z(z-B)} \leq J_{кр, затор}. \quad (18)$$

После простых преобразований получим

$$z_{кр.затвор} = \sqrt{\frac{K_1^2 K_2 V_{ср}^2 B}{2g \alpha_1 (J_{кр.затвор} - J_p)}} + \frac{B}{2} + \frac{B}{2} \quad (19)$$

При $z > z_{кр.затвор}$ формирования затвора не наблюдается.

Неравенство (19) есть условие беззатворного становления ледостава на криволинейных участках реки.

Необходимым условием беззатворного пропуска льда, согласно [4], является

$$J_{об} \geq J_{кр.затвор}, \quad \text{где} \quad (20)$$

$$J_{кр.затвор} = \frac{2 \xi h_A K \cdot \operatorname{ctg} \psi}{B [\gamma_0 z_0 + \gamma_A h_A (1 + \varepsilon)]} \quad (21)$$

где ξ, K, ψ - коэффициенты трения между движущимся льдом и берегами и коэффициент сцепления между льдинами;

h_A - толщина льда, м;

B - ширина русла, м;

γ_0, γ_A - объёмный вес воды и льда, н/м³;

ε - пористость скоплений льда;

z_0 - гидравлический радиус, м.

Со стороны вогнутого берега на участке I-II уклон водной поверхности с учетом (12) равен

$$J_{об.вог. I-II} = J_p - J_{гон_1} = J_p - \frac{K_1^2 K_2 \cdot V_{ср}^2 \cdot B}{2g \alpha_1 \cdot z^2} \quad (22)$$

а со стороны выпуклого берега на участке III-IV

$$J_{об.вып. III-IV} = J_p - J_{гон_2} = J_p - \frac{K_1^2 \cdot K_2 \cdot V_{ср}^2 \cdot B}{2g \alpha_1 z (z - B)} \quad (23)$$

Так как

$$J_{об.вог. I-II} > J_{об.вып. III-IV}$$

получаем условие затворообразования

$$J_p - \frac{K_1^2 K_2 V_{ср}^2 B}{2g \alpha_1 z (z - B)} \geq J_{кр.затвор} \quad (24)$$

После простых преобразований получаем

$$Z \geq \sqrt{\frac{\kappa_1^2 \kappa_2 V_{cp}^2 B}{2g \alpha_1 (J_p - J_{кр.затоп})}} + \frac{B}{2} + \frac{B}{2} \quad (25)$$

Неравенство (25) есть условие беззаторного ледохода на криволинейных участках реки.

Список использованной литературы

1. Чеботарев А. И. Общая гидрология. М.: Гидрометеиздат, 1975. 554 с.
2. Замбахидзе Г. Н. Движение реальной жидкости и твердых тел на криволинейных участках рек. Тбилиси: Собчота Сакартвело, 1967. 202 с.
3. Донченко Р. В., Щеголева Е. В. Закономерности образования и распространения зажоров на реках СССР // Труды ГГИ. 1985. Вып. 309. С.3-15.
4. Панфилов Д. Ф. Движение раздробленного ледяного поля в русле реки, стесненном перемычками // Тр. координационных совещаний по гидротехнике. Л.: Энергия, 1968. Вып. 42. С.128-143.

УДК 631.67.0364+628.165

И.Б.Рузиев, Т.Досганов

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОВОТАНИЧЕСКОГО СПОСОБА ОЧИСТКИ КОЛЛЕКТОРНО- ДРЕНАЖНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

(на примере дельты р.Амударьи)

В условиях нарастающего дефицита водных ресурсов в Центральной Азии одним из резервов их пополнения является использование коллекторно-дренажных вод (КДВ), формирующихся в орошаемой зоне. Однако они характеризуются повышенной минерализацией и наличием токсичных элементов, значительно превышающих предельно-допустимые концентрации (ПДК) питьевого водоснабжения, орошения сельскохозяйственных культур и т.д. Это объясняется отсутствием специальных водоохраных предприятий, в результате,

как известно, с орошаемых полей выносятся в коллекторы до 20% азота, до 1% фосфора, 0,5% калия от количества вносимых удобрений. По данным САННИРИ и Института агрохимии и почвоведения АН РУз, вынос пестицидов с орошаемых земель составляет до 4% от используемого количества, а в отдельных случаях может достигать 15-30%.

В последние 15-20 лет значительно расширился фонд орошаемых земель, соответственно увеличился объем водозабора и КДВ. По данным САННИРИ, КДВ в бассейне Аральского моря составляют 31-32 км³, из них обратно в реки сбрасывается 17-18 км³. Благодаря многократному использованию возрастает общий объем водных ресурсов, но вместе с тем наносится значительный ущерб народному хозяйству, здоровью населения в связи с ухудшением качества питьевого водоснабжения, мелиоративного состояния земель низовьев рек, рыбной продуктивности водоёмов и т.д.

По оценкам специалистов США, увеличение среднегодовой минерализации р. Колорадо до 0,875 г/л привело к возрастанию ущерба до 96 млн долл., который к 2000 г., по прогнозным расчетам, увеличится до 237 млн долл. при повышении минерализации воды до 1,23 г/л.

По данным С.А. Полинова, в условиях Средней Азии при использовании воды с минерализацией 2 г/л совокупный чистый доход уменьшится на 75%. Мерешинским (1983 г.) проведены оценочные расчеты использования водных ресурсов в низовье р. Амударьи в зависимости от минерализации грунтовых (3-10 г/л) и оросительных (0,5-2 г/л) вод при различных мелиоративных режимах. Его проработка показала, что на фон оптимального мелиоративного режима при всемерном осуществлении водосберегающих мероприятий продуктивность водных ресурсов на 1 км³ оросительной воды при минерализации 0,5; 1,0; 2,0 г/л на посевах чистого хлопчатника соответственно составит 20,8; 18,0; 14,4 коп/м³, а на посевах севооборотных культур хлопкового комплекса - 9,8; 7,8; 5,7. По его расчетам, при лимите водных ресурсов для низовьев Амударьи 16,5 км³ ежегодный ущерб от роста минерализации оросительной воды с 0,5 (до 1965 г.) до 1,5 г/л (в 1982 г. маловодном году достигло 1,5-2,0 г/л) составит 450 млн руб.

Экспериментальные исследования в Кызылординской области института "Совзгипрорис" показали, что использование для орошения минерализованных вод 2,7-3,0 г/л приводит к потере урожая риса

на 18-20 ц/га.

Использование большей части КДВ на полив и промывку сдерживается значительным снижением урожайности сельскохозяйственных культур из-за повышенной минерализации и качества получаемой продовольственной продукции с содержанием ядовитых пестицидов, превышающим допустимые нормы.

В связи с этим важное значение имеют разработка и использование водоохраных мероприятий, в частности методов очистки КДВ от минерализации и загрязнения агрохимикатами.

Основной метод комплексной очистки от минерализованных солей и токсичных элементов - опреснение. Наиболее разработанными из всех существующих способов опреснения воды являются дистилляция, электродиализ и обратный осмос. Основная тенденция развития опреснительной техники состоит в повышении экономичности опреснительных установок.

В настоящее время широкое применение опреснительных установок для очистки КДВ в больших объемах ограничивается из-за повышенной капиталоемкости и энергоемкости - 1 м³ опресненной воды. Даже самый дешевый из всех способов опреснения - электродиализ - учитывает 1 м³ воды за 25-35 коп. Общая стоимость возможного к опреснению 12-13 км³ КДВ составит в среднем 4 млрд руб в год при расходовании большого количества дефицитной электроэнергии и необходимого оборудования (таблица).

Экономические показатели получения 1 км³ дополнительных водных ресурсов в СНГ, млн руб

Способ получения воды	Затраты, млн руб	
	капитальные	приведенные
Зарегулирование речного стока	45	6
Очистка сточных вод	50-75	11-20
Передача воды трубопроводам на расстояние 1 тыс км	1400	280
Реконструкция оросительных систем	700-900	75-90
Опреснение солонцеватых вод на установках мощностью 100 тыс м ³ /сут		
дистилляция	1100	940
электродиализ	1060	430

При возрастающей минерализации рек Центральной Азии опреснение должно стать составной частью комплексного переустройства оросительных систем, что будет уменьшать минерализацию и улучшать качество воды в речных системах. Оно может быть целесообразным и экономически оправданным для водоснабжения городов и сельских населенных пунктов в районах с незначительным количеством ресурсов пресных вод, в частности в Приаралье.

В последние 15-20 лет в результате значительного увеличения объема водозабора из рек для орошения резко уменьшился приток воды в Аральское море, что привело к падению его уровня на 15,0 м и развитию процессов опустынивания и ветроэрозионных явлений на 2,5 млн га осушенного моря, возрастанию континентальности климата в Приаралье, снижению продуктивности пастбищ, резкому ухудшению качества питьевой воды.

В некоторой мере смягчить кризисную экологическую ситуацию в Приаралье можно строительством лево- и правобережных магистральных каналов-коллекторов вдоль Амударьи и Сырдарьи с выходом к Аральскому морю и сбросом в них дренажных вод. Арал пополнится водными ресурсами, что ликвидирует угрозу его исчезновения и обеспечит чистоту и снижение минерализации вод Амударьи и Сырдарьи. При этом средневзвешенная минерализация стоков будет колебаться от 3,0 до 5,0 г/л, что вполне допустимо хотя бы для рыбохозяйственных целей при условии очистки от высокотоксичных пестицидов.

В настоящее время для очистки воды от пестицидов апробированы и применяются физико-технические, механические и биологические методы. Наиболее эффективные и дешевые (1,6-5,0 коп/м³) биологические, основанные на применении высших водных растений в биоплато (в биологических прудах) и биоинженерных сооружениях. Ориентировочная стоимость проведения очистки КДВ от загрязняющих веществ этим методом, по данным ВНИИВО, 300-500 руб/км³.

Для примера расчета оценки экономического ущерба и экономической эффективности биологического метода очистки выбрали Главный Кунградский и коллекторы КС-1, КС-3, КС-4, собирающие коллекторно-дренажные воды с территории Каракалпакстана. В дальнейшем они будут углублены и выведены к Аральскому морю.

Суммарное количество дренажно-сбросных вод, которые должны поступать в Аральское море по этим коллекторам, составляет около 1,65 км³/год. Минерализация и степень загрязнения воды в кол-

факторах зависят от условий водности года. Пробы воды из коллекторов (по 12-15 в каждом) для определения минерализации и основных хлороорганических пестицидов (α и γ -ГХЦГ, ДДТ и ДДТ) отбирались одновременно. По всем коллекторам Каракалпакстана при величине выборки 56 среднее значение минерализации равнялось 3,01 г/л с изменением от 2,49 до 3,51, загрязнение хлороорганическими пестицидами составляло 2,31 мкг/л с изменением от 0,207 до 0,268.

Для расчета ущерба от загрязнения пестицидами КДВ коллекторов нами использована "Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству окружающей средой" (1986 г.). Установлено, что на очистку 1 тыс м³ от ХОП требуется в среднем 70 руб капитальных вложений и 35 руб эксплуатационных затрат (в ценах 1989 г.).

Экономическая эффективность водоочистных мероприятий определялась по рассчитанным оценкам экономического ущерба до и после их проведения и данным по капитальным вложениям и текущим затратам.

Годовой экономический эффект гидробиологического метода очистки КДВ коллекторов Республики Каракалпакстан от хлороорганических пестицидов составил 1941,3 тыс руб, срок окупаемости капитальных вложений - 7,5 мес.

Получаемая биомасса после использования высших растений (тростника) в очистке от загрязнителей может быть использована в животноводстве в качестве корма или же в строительстве как строительная плита.

В. А. Николаенко

КАЧЕСТВО ВОДЫ ВОДОХРАНИЛИЩ БАССЕЙНОВ АМУДАРЬИ И СЫРДАРЬИ И ПРОБЛЕМЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В последние 15 лет в республиках Центральной Азии возникли проблемы питьевого водоснабжения населения, что связано как с общим дефицитом водных ресурсов бассейна Аральского моря, так и ухудшением их гидроэкологического состояния. В Узбекистане это остро ощущается в Наманганской, Андижанской, Каршинской, особенно Бухарской, Хорезмской областях и Каракалпакстане.

В настоящее время запасы пресных подземных вод основных водосносных горизонтов Республики Узбекистан ограничены (около 49 млн $\text{м}^3/\text{сут}$) и распространены повсеместно. Так, в большей части степных, пустынных и равнинных территорий они распространены эпизодически или отсутствуют [1]. В связи с этим в последние годы большее внимание уделяется поверхностным водным ресурсам (реки, водохранилища, каналы) как дополнительным, так и основным источникам хозяйственно-питьевого водоснабжения населения. С учетом этого необходимо провести оценку гидроэкологического состояния и качества поверхностных водных объектов для обоснования их пригодности как источников питьевого водоснабжения.

В данной работе объектами исследований являются водохранилища как основные источники водоснабжения.

В Центральноазиатском регионе функционирует более 60 водохранилищ, из которых 40 в бассейнах Сырдарьи и Амударьи с общим объемом водных масс 57,5 км^3 и площадью 3,3 тыс км^2 [2].

В Узбекистане расположены 22 водохранилища объемом более 10 млрд м^3 . Нами рассматриваются 20 водохранилищ: 13 – в бассейне Амударьи и 7 – в бассейне Сырдарьи. Их морфометрические характеристики опубликованы в работе [3]. Качественный состав воды представлен по результатам многолетних натурных наблюдений (1987–1995) НПО САНИИРИ и материалам Главгидрометов республик Центральной Азии [10]. Оценка качества воды дается согласно требованиям нормативных документов [4–6].

Установлено, что во всех водохранилищах концентрация растворенного кислорода в воде достаточно высокая – 8,0–11,0 мг/л .

а в ряде случаев достигает 13,0–14,0 мг/дм³. Среда воды изменяется от слабощелочной до щелочной (рН колеблется от 7,0 до 8,80). Следовательно, физико-химические компоненты находятся в пределах ПДК для водоёмов хозяйственно-питьевого водоснабжения.

По содержанию солевого состава воды водохранилищ значительно отличаются. При этом наблюдается определенная закономерность. Водоохранилища предгорно-горной зоны (кроме Пачкамарского) характеризуются в основном невысокой минерализацией воды (170–550 мг/дм³), а в равнинной зоне она в 3–4 раза выше (375–2700 мг/дм³). Минимальные значения минерализации в летний период, а максимальные – в раннезесенний. Минерализация воды, сульфатные и хлоридные ионы не превышают ПДК. В ряде других водохранилищ (Кожбулакское, Султансанджарское, Пачкамарское, Куюмазарское, Чардаринское) солевой состав либо достигает, либо превышает ПДК в течение года. В Тюямуунском, Кайраккумском, Учкызылском и Капараском водохранилищах лишь летом и частично осенью солевой состав не превышает ПДК, в другие периоды достигает 1,0–1,4.

Большинство водохранилищ имеет повышенную и высокую общую жесткость. Лишь в 7 водохранилищах (Чарвакское, Андижанское, Тюябугузское, Токтогульское, Нурекское, Гиссаракское и Каттакурганское) жесткость не превышает ПДК в течение года. В остальных водоёмах она в среднем составляет 1,5 ПДК, а в Кожбулакском и Султансанджарском достигает 14–19.

Во всех водохранилищах концентрация биогенных элементов (соединения азота, железо, фосфор, кремний) не превышает ПДК и составляет десятые и сотые доли от нормативных требований. Содержание органических веществ (по БПК_{полн.} и ХПК) достаточно высокое. В 8 водохранилищах наблюдается превышение ПДК легкоокисляющихся (БПК_{полн.}) веществ, а в 13 – трудноокисляющихся (ХПК). Эти превышения обнаруживаются в различных водоёмах от одного до восьми месяцев в году. Наибольшие периоды превышения ПДК зафиксированы в Учкурганском, Кайраккумском, Чардаринском, Куюмазарском, Тюямуунском водохранилищах. Во многих обнаруживаются хлор- и фосфорорганические пестициды (альфа- и гамма – ГХЦГ, рогор, ДДТ, его гомологи, метафос, карбофос и пр.). Их концентрация составляет сотые и реже десятые доли ПДК для водоёмов хозяйственно-питьевого водопользования. Не превышают установленных норм такие загрязняющие компоненты, как СПАВ, нефтепродукты и тяжёлые металлы (медь, цинк, ртуть, кадмий, хром, ванадий, свинец).

Все водохранилища загрязнены фенолами - 4-5 значений ПДК, а также - В-II (Учкурганское, Туябугузское).

В таблице представлены среднемесячные многолетние предельные значения отношений С/ПДК основных показателей качества воды исследуемых водохранилищ.

По гидро- и микробиологическим показателям большинство водохранилищ отвечает нормативным требованиям [4, 5]. Установлено, что такой фактор биологического загрязнения, как "цветение" воды в данных водоёмах отсутствует, это связано с недостаточным содержанием в них азота аммонийного, нитратов и фосфатов, способствующих массовому развитию синезеленных и других водорослей, вызывающих это загрязнение [7]. Оценка качества воды водохранилищ по 30-45 компонентам показала следующее:

специфического запаха и вкуса не обнаружено;

концентрация растворенного кислорода и среда воды вполне благоприятны для развития гидробионтов;

процессы самоочищения способствуют снижению концентраций биогенных элементов, органических веществ, пестицидов и фенолов;

за счет процессов седиментации снижаются мутность и содержание тяжелых металлов;

из санитарно-токсикологических показателей качества воды ни один не превышает ПДК;

из общесанитарных ЛПВ в ряде водохранилищ превышают ПДК минерализация, общая жесткость, БПК_{полн.} и ХПК;

из органолептических ЛПВ в отдельных водохранилищах превышают ПДК сульфатные ионы (Кайраккумское, Чардаринское, Кулмазарское, Пачкамарское, Султансанджарское, Тюлмунское, Кошбулакское), хлоридные ионы (Султансанджарское и Кошбулакское), фенолы и мутность (во всех водоёмах).

Таким образом, большинство водохранилищ могут быть использованы как источники хозяйственно-питьевого водоснабжения при соответствующей степени водоподготовки.

Анализ результатов показал, что наилучшее качество воды формируется в Гиссаракском, Чарвакском, Андижанском, Каттакурганском, Тоитогульском и Нурекском водохранилищах. Вода здесь должна подвергаться очистке только от фенолов после отстаивания.

Очистка по снижению органических веществ и фенолов потребует в Учкурганском и Талимарджанском водохранилищах, дополнительно по общей жесткости - в Деносурханском, Учкызылском, Чим-

Предельные значения отношений С/ЛДК в водохранилищах Центральной Азии
для водоемов хозяйственно-питьевого водопользования

Водохранилища	Характер заполне- ния	Объём, млн м ³	Σ и	SO ₄ ²⁻	СВ ⁻	ОЖ	БПК полн.	ХПК	Фенолы	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Бассейн р. Амударья										
1987-1992 гг.										
Даносурханское	P	641	610	0,4-0,9	0,4-0,7	0,1-0,1	0,8-1,3	0,4-1,0	0,4-1,1	2,0-4,0
Учкызилское	H	160	80	0,9-1,0	0,8-0,9	0,2-0,3	1,3-1,4	0,4-0,8	0,6-1,0	1,0-4,0
Каттакурганское	H	845	834	0,4-0,5	0,3-0,4	0,1-0,2	0,6-0,9	0,7-1,0	0,5-0,9	1,0-5,0
Кутмазарское	H	306	246	1,0-1,3	0,9-1,2	0,5-0,8	1,2-1,9	0,6-1,0	0,9-1,7	1,0-4,0 ⁴⁵
Чимкурганское	P	440	418	0,5-0,9	0,6-0,8	0,2-0,3	0,9-1,4	0,4-0,9	0,5-0,8	1,0-4,0
Пачкамарское	P	243	243	1,2-1,8	1,3-1,7	0,4-0,6	1,7-2,5	0,3-0,9	0,3-0,7	0-2,0
Гиссаракское	P	170	155	0,2-0,3	0,1-0,1	0,02-0,03	0,3-0,6	0,2-0,9	0,2-0,3	0-3,0
1987-1994 гг.										
Талимартжанское	H	1530	1400	0,7-0,8	0,5-0,8	0,4-0,7	0,8-1,1	0,3-0,8	0,8-1,3	3,0-7,0
1987-1992 гг.										
Нурекское	P	10500	4500	0,4-0,6	0,2-0,4	0,1-0,3	0,4-0,9	0,2-0,5	0,4-0,8	0-3,0
1987-1993 гг.										
Толмутиновское	P	2340	2070	0,7-1,4	0,6-1,2	0,5-0,8	1,2-1,9	0,6-1,0	0,7-1,2	1,0-5,0
1986-1994 гг.										
Капарасское	H	960	680	0,8-1,3	0,6-0,8	0,5-0,7	1,0-1,5	0,2-0,8	1,0-1,5	1,0-3,0
1987-1992 гг.										
Султансанджарское	H	2690	1630	1,1-1,5	0,8-1,2	0,7-1,2	8,6-14,2	-	-	-

курганском, Тюмюунском и Капарасском.

В настоящее время имеются достаточно экономически доступные способы очистки вод. Так, мутность очищается при помощи горизонтальных отстойников, общая жесткость снижается широко используемым реагентным способом. Известь ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) вводят в воду, затем фильтруют от осадков. При этом общая минерализация воды снижается на 15–20%. Фенолы удаляются хлорированием с аммонизацией. Их содержание снижается до 6 ПДК. Органические вещества БПК_{полн.}, ХПК) удаляются при помощи коагулянтов (FeSO_4) и флокулянтов (полиакриламид) с последующим фильтрованием.

Не рекомендуется использовать в качестве источников водоснабжения Султансанджарское, Кошбулакское, Пачкамарское, Куюмазарское, Кайраккумское и Чарпаринское водохранилища, очистка их вод потребует больших экономических, капитальных и эксплуатационных затрат.

В настоящее время источниками водоснабжения служат Андижанское, Талимарджанское и Тюмюунское водохранилища. В ближайшие годы планируется использовать Учкурганское, Гиссаракское, Чарвакское и Капарасское водохранилища.

Особое внимание следует уделить Капарасскому водохранилищу. Нами проводились многолетние (1986–1994) натурные наблюдения этого водоёма и питающего его Тюмюунского водохранилища для обоснования их совместного использования с целью водоснабжения населения низовьев Амударьи. Исследования включали контроль и оценку за гидрологическими, гидрохимическими, гидробиологическими, микробиологическими и радиологическими параметрами [8, 9]. Результаты показали, что Капарасское водохранилище может быть использовано для водоснабжения при условии очистки воды от четырех показателей, превышающих ПДК: общей жесткости, ХПК, фенолов и мутности, а также при соблюдении рекомендуемых сроков наполнения – июль–сентябрь и последующей равномерной сработки. В период наполнения вода для водоснабжения должна забираться из Рузловского водохранилища.

В целях защиты водных ресурсов водохранилищ от загрязнения необходимо установить санитарно-водоохранные зоны; прекратить сброс неочищенных сточных вод в водоисточники; уменьшить сброс в реки Амударью и Сырдарью коллекторно-дренажных вод не менее чем в 3–4 раза по сравнению с современным объёмом сбросов; организовать пункты контроля качества воды на всех эксплуатируемых

и планируемых к использованию источниках водоснабжения и питающих их рек с целью проведения гидроэкологического мониторинга для оценки их качественного состояния и принятия оперативных мер по очистке вод от загрязняющих компонентов до нормативных требований.

Список использованной литературы

1. Мирзаев С. Ш., Валиев Х. И., Салохиддинов А. Т. О состоянии источников водоснабжения и пути решения проблемы водообеспечения населения // Проблемы обеспечения качества питьевой воды в Узбекистане (тезисы докл. на конференции). Ташкент, 1990. С.11-12.
2. Рубинова Ф. Э. Влияние водохранилищ бассейна Аральского моря на водные ресурсы и их качество // Тр. отраслевой научно-практической конференции (23.03.1994 г.). Ташкент: Гидрометеиздат, 1995. С.79-82.
3. Никитин А. М. Водоохранилища Средней Азии. Л.: Гидрометеиздат, 1991. С.163.
4. ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения // Гигиенические и технические требования и правила выбора. Госком СССР по стандартам. М., 1989. 14 с.
5. ГОСТ 2874-82. Вода питьевая. М., 1986. 7 с.
6. СанПиН 4530-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. Минздрав СССР. М., 1988. С.69.
7. Хендерсон - Селленс Б., Маркленд Х. Р. Умирающие озёра, причины и контроль антропогенного эвтрофирования. Л.: Гидрометеиздат, 1990. С.12-137.
8. Касмов О. А., Николаенко В. А., Когтева И. В. О качестве питьевой воды в низовьях р. Амударьи // Тр. НПО САНИИРИ. Формирование, охрана и управление водными ресурсами в речных бассейнах Средней Азии. Ташкент, 1989. С.26-35.
9. Касмов О. А., Николаенко В. А., Когтева И. В. Качество воды Капарасского водохранилища // Проблемы обеспечения качества питьевой воды в Узбекистане (тезисы докл. на конференции). Ташкент, 1990. С.27-29.

10. Н и к о л а е н к о В. А. Гидрохимический режим и качество воды водохранилищ Средней Азии // Гидробиологический журнал. Т.25. № I. Киев, 1989. С.78-83.

УДК 627.83:282.255.1

Ш.Р.Хамдамов

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОЧИСТНЫХ РАБОТ ПОДВОДЯЩИХ КАНАЛОВ ПРИ БЕСПЛОТИННОМ ВОДОЗАБОРЕ ИЗ Р.АМУДАРЬИ *

При бесплотинном водозаборе в условиях р.Амударьи борьба с наносами в основном осуществляется путём осаждения избыточного их количества в головных отстойниках. Функции последних выполняют подводящие каналы - ЮЖ, АВЖ и др.

Режим осаждения наносов в отстойниках этого типа в значительной степени определяется режимом расходов и уровней воды в реке. Степень осветления воды в отстойнике устанавливается исходя из транспортирующей способности защищаемого канала. Удаление наносов из подводящих каналов проводится преимущественно механизированной очисткой (при помощи земснарядов).

Головные отстойники с механической очисткой представляют собой расширенные и углубленные участки подводящих водозаборных каналов (при многоголовном водозаборе) или головную часть магистрального канала. При выборе места расположения отстойника необходимо прежде всего исходить из удобства складирования удаляемых из отстойника наносов в отвалы с учетом последующей их разработки, или возможности сброса пульпы в речной поток.

В условиях бесплотинного водозабора при интенсивном завлечении наносов в голову канала необходимо регулировать процесс их осаждения в головном отстойнике с помощью правильной организации очистных работ во времени и соответствующей расстановки земснарядов по длине канала-отстойника.

При организации очистных работ по удалению наносов с помощью земснарядов в головной части водозаборного канала на 1-5 км

* Натурные исследования выполнены под руководством Р.К.Уртинбаева.

его длины очистку следует проводить группой совместно работающих мощных земснарядов типа 350 Л-50, ДЭР-250 и т.п. (макрозабой), восстанавливающих нормальное сечение канала, необходимое для пропуска гарантированных расходов водоподачи, с заглублением в дно канала, создающим резервную ёмкость для задержания крупных фракций наносов, дрейфующих по дну. Оптимальные размеры макрозабоя определяются расчетом из условия поддержания скоростей течения воды в пределах 0,2–0,4 м/с. На нижележащих участках канала следует переходить к очистке "микрозабоями", разрабатываемыми отдельно стоящими земснарядами меньшей мощности. Расстояние между микрозабоями определяют исходя из толщины слоя отложившихся наносов и производительности работающих земснарядов.

Оптимальные размеры (длина, ширина и глубина) отстойника следует определять в зависимости от объёма заиления канала и технических параметров земснарядов, придерживаясь следующей последовательности.

Определять среднемесячный объём заиления головного отстойника по формуле

$$W_{cp} = \frac{\sum W_3}{12}, \quad (1)$$

где $\sum W_3$ – годовой объём отложений.

Очистку проводить в два периода: меженный и вегетационный, определять месячные объёмы очистки каждого периода по формуле

$$W_{оч} = K_H \cdot W_{cp}, \text{ тыс м}^3/\text{месяц}, \quad (2)$$

где $K_H = 1,2$ – коэффициент неравномерности для вегетационного периода (апрель–сентябрь);

$K_H = 0,8$ – то же для меженного периода (октябрь–март).

Необходимое число земснарядов определяется исходя из условия

$$W_{оч} = \Pi_1 \cdot N_1 + \Pi_2 \cdot N_2 + \dots + \Pi_i \cdot N_i, \quad (3)$$

где $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_i$ – средние фактические месячные производительности земснарядов имеющихся типов;

$N_1, N_2, \dots, N_i$ – число земснарядов этих типов.

Подбором определяется число земснарядов каждого типа, при котором правая часть условия (3) наиболее близко подходит к левой, т.е. условия (2).

Определяется длина участка очистки в отстойнике, обеспечивающая достаточно высокую производительность земснарядов согласно формуле

$$L = \frac{W_{\text{ср}}}{B_3 \cdot \Delta H}, \quad (4)$$

где B_3 и ΔH — ширина и глубина землесосного забоя.

Ширина забоя принимается согласно условию

$$B_{\text{дно}} \geq B_3 \geq B_{\text{min}}. \quad (5)$$

Наименьшая ширина определяется техническими параметрами земснаряда согласно [1, 2].

$$B_{\text{min}} \approx 20-45 \text{ м.}$$

Ширина подводящего канала по дну принимается согласно проекту, а при отсутствии таких данных вычисляется исходя из ширины по урезу воды (B_n), заложения откосов (m) и глубины воды (H) по формуле

$$B_{\text{дно}} = B_n - 2mH. \quad (6)$$

Глубина забоя принимается по условию

$$H_{\text{min}} \leq H_3 \leq (H_{\text{max}} - H_6). \quad (7)$$

При $H_{\text{min}} = 2-4$ м; $H_{\text{max}} = 10-12$ м (минимальные и максимальные глубины разработки грунта согласно техническим параметрам земснаряда); $H_6 = 6-8$ м (средние глубины воды в забоях после очистки).

Значения H_6 могут уточняться по фактическим данным или вычисляться по формуле

$$H_6 = 0,4 H_1 \left(1 - \frac{V_2}{V_1}\right)^{4/3}, \quad (8)$$

где H_1 и V_1 — средняя глубина и скорость в сечении перед началом очистки.

$$V_1 = 0,2 - 0,4 \text{ м/с,}$$

$$V_2 = 0,4 - 0,7 \text{ м/с.}$$

При очистке с определением потребного числа земснарядов исходя из соблюдения условия (3) обеспечивается равномерность их загрузки в принятии расчетного периода. Но это приводит к знакопеременным деформациям русла и сечений подводящего канала в процессе очистки, которые связаны с тем, что в отдельно взятые конкретные месяцы принятые объёмы очистки ($W_{оч}$) больше или меньше объёмов осаждающихся наносов (ΔW), т.е.

$$\Delta W_i = W_{оч} - W_3 \neq 0. \quad (9)$$

При этом в случае $\Delta W > 0$ в русле создаётся дополнительный (резервный) объём для задержания крупных фракций, а в случае $\Delta W < 0$ заиливание преобладает над очисткой, что может вызвать уменьшение пропускной способности сечений или увеличение уклона водной поверхности в процессе водоподачи.

Для контроля за деформацией русла при очистке необходимо после установления числа работающих землесосов по условию (3) для межи и вегетации произвести расчеты по следующей схеме. Для каждого месяца и периодов определяется разница между расчетными месячными объёмами очистки ($W_{оч}$) и заиливания (W_3), т.е.

$$\Delta W_i = W_{оч} - W_3. \quad (10)$$

Исходя из полученных значений ΔW_i для каждого месяца определяются месячные площади деформации по формуле

$$\pm \Delta W_i = \frac{\Delta W_i}{L}. \quad (11)$$

Знак "-" соответствует уменьшению площади сечений канала, а знак "+" - увеличению площади.

Производя последовательное (с начала года) суммирование полученных значений ΔW_i с учетом указанных знаков, определяют площади деформации сечения отстойника (подводящего канала) на конец расчетного месяца или любого периода времени

$$W_3 = \sum_{i=1}^n \Delta W_i, \quad (12)$$

где n - номер месяца или число суток в месяце.

Исходя из вычисленных по (II) месячных площадей деформации находят среднюю величину слоя деформации за месяц по формуле

$$\Delta h_i = \frac{\Delta W_i}{B} \quad (I3)$$

где B - ширина канала.

Исходя из вычисленных по (I3) средних величин слоя деформации за месяц определяют суммарные величины деформации среднего дня для конца месяца или для любого отрезка времени по формуле

$$h = \sum_{i=1}^n \Delta h_i \quad (I4)$$

Для более полной характеристики деформаций вычисляются среднемесячные интенсивности деформации по формуле

$$j = \frac{\Delta h}{t} \quad (I5)$$

где t - число суток в месяце.

Для выяснения влияния деформаций русла в процессе очистки на пропускную способность русла на участке очистки проводятся проверочные расчеты по следующей схеме.

Для каждого месяца определяется разница между среднемесячным уровнем воды в канале и уровнем воды на начало расчетного периода

$$\Delta H = H_{cm} - H_2 \quad (I6)$$

Исходя из определенных значений ΔH для каждого месяца вычисляются ширина по урезу воды B_n и приращение площади живого сечения ΔW_n по формулам

$$B_n = B_1 + 2m \cdot \Delta H \quad (I7)$$

и

$$\Delta W_n = B_n \cdot \Delta H \quad (I8)$$

где B_1 - ширина сечения по урезу воды на начало расчетного периода;

m - заложение откосов.

Среднемесячная площадь живого сечения определяется по формуле

$$W_K = W_I + \Delta W_H + W_g \quad (19)$$

Среднюю глубину сечения находим по формуле

$$h = \frac{W_K}{B_n} \quad (20)$$

среднюю скорость течения - по формуле

$$V = \frac{Q_{см}}{W_K} \quad (21)$$

где $Q_{см}$ - среднемесячный расход (m^3/c).

Уклон водной поверхности определяется по формуле

$$i = \frac{(V \cdot n)^2}{H^{3/2}} \quad (22)$$

Входящие в формулу (22) значения коэффициента шероховатости русла после очистки можно определить по зависимости, полученной на основе материалов натурных исследований на КМК

$$n_2 = 0,5 n_1 \left(\frac{3W_2}{W_1} - 1 \right) = 0,5 n_1 \left(\frac{3V_2}{V_1} - 1 \right) \quad (23)$$

где n_1, W_1, V_1 - коэффициент шероховатости русла, площадь и средняя скорость в сечении до очистки;

n_2, W_2, V_2 - то же после очистки.

В результате расчетов устанавливаются максимальные значения средней скорости и уклона водной поверхности и проверяется их допустимость для конкретных условий.

Характер изменения мутности воды и крупности частиц наносов по длине канала отстойника устанавливается по [I-4], а средняя гидравлическая крупность наносов, полностью осевших на длине L , вычисляется по формуле

Внутреннее распределение насаждений объёма стока воды и осветительных приборов
 части каналов (в от годовых) и изменения осветления потока в выходном створе
 (средние данные за 1980-1990 гг.)

Показатель	Диапазон из-менения в год	I	II	III	IV	V	VI	УП	УШ	IX	X	XI	XII
К а р а к у м с к и й к а н а л													
Сток воды	9-10 км ³	6,4	6,5	6,9	7,6	9,2	10,4	11,2	II	8,5	8,0	7,6	6,7
Объём очистки	9-10 млн м ³	8	4,8	8,7	7,1	9,1	10,6	8,3	7,1	8,6	8,8	8,2	10,7
Осветление	0,20-0,60	-	-	-	-	-	0,55	0,30	0,20	0,29	-	-	-
К а р ш и н с к и й к а н а л ж													
Сток воды	4-5 км ³	6,3	6,1	9,7	10	8,4	12,4	13,8	12,6	5,6	5	5	5,1
Объём очистки	10-13 млн м ³	0	9,0	5,8	7,1	9,9	12,8	14,4	14,4	8,6	3	5,7	5,3
Осветление	0,55-0,93	0,74	0,74	0,87	0,67	0,62	0,67	0,70	0,76	0,6	0,3	0,74	0,74
А м у б у х а р с к и й к а н а л													
Сток воды	4,5-5,6 км ³	10,8	7,6	4,4	4,7	5,1	12,3	15,2	15,6	10,4	4,6	4,6	4,7
Объём очистки	11-15 млн м ³	5,7	7,3	7,4	7,6	7,5	9,2	9,3	9,7	10,3	9,1	0,2	7,7
Осветление	0,46-0,92	0,67	0,75	0,75	0,68	0,69	0,51	0,46	0,50	0,39	0,71	0,67	0,67

* Объёмы очистки за 1982-1987 гг., по данным СУ "Гидромеханизация".

$$\bar{W} = \frac{q_2}{L}, \quad (24)$$

где $q_2 = V_2 \cdot H_2$ – погонный расход воды в отстойнике.

Средняя мутность воды на расстоянии L от входного створа определяется по формуле

$$\rho_i = \rho_{bx} (1 - \eta_i), \quad (25)$$

где ρ_{bx} – мутность во входном створе;

η_i – коэффициент осветления воды на расчетных створах.

Характер изменения коэффициента осветления воды (η_i) по длине канала-отстойника зависит от объема очистки и размеров головного отстойника, которые должны устанавливаться по данным измерений. При ориентировочных расчетах могут использоваться данные таблицы.

Список использованной литературы

1. Х а ч а т р я н А. Г. Отстойники на оросительных системах. М.: Сельхозгиз, 1957. 332 с.
2. Ц в е т к о в а Н. Ф. Технические условия и нормы по проектированию ирригационных отстойников. Ташкент: Наука, 1964. 66 с.
3. Инструкция по проектированию отстойников и наносоперехватывающих сооружений для оросительных систем (ВСН-II-15-17). М., 1977. 30 с.
4. М у х а м е д ж а н о в Ф. Ш. Гидравлический расчет ирригационных отстойников, пособия и методические указания для расчетов и проектирования. Средазгипроводхлопок. Ташкент, 1966. 64 с.

М.Р.Икрамова

РАСЧЕТ СКОРОСТЕЙ В ВЕРХНЕМ БЬЕФЕ
БЕРЕГОЗАЩИТНОЙ ДАМБЫ

При защите берегов рек регулировочными сооружениями значительно нарушается бытовой режим потока. Стесненный поток обтекает дамбу, отклоняется к свободной части русла. В верхнем и нижнем бьефах дамбы образуются водоворотные зоны с обратным направлением скорости пониженной величины. Происходит перераспределение скоростей, изменения уровня режима и плановых размеров потока.

В настоящей работе изучена деформация поля скоростей потока при обтекании поперечной дамбы. Поверхность дамбы, на которую набегает поток, можно рассматривать как поверхность, от которой непрерывно выбрасывается жидкость, т.е. в качестве источника, а тыльную всасывающую — в качестве стока. Исходя из такого представления можно определить кинематическую структуру потока около препятствия. Общая картина движения перед дамбой складывается из трёх потенциальных потоков: движения от системы источников напорной поверхности дамбы, стоков несесненной части русла и поступательного движения. При этом компоненты скорости сложного потока можно представить следующим образом:

$$\begin{cases} V_x = V_{x_1} + V_{x_2} + V_{x_3} \\ V_y = V_{y_1} + V_{y_2} + V_{y_3} \end{cases}, \quad (1)$$

где V_{x_1}, V_{y_1} — составляющие скорости от системы источников;
 V_{x_2}, V_{y_2} — составляющие скорости от системы стоков;
 V_{x_3}, V_{y_3} — составляющие скорости от поступательного движения.

Элементарный прямолинейный источник dy сообщит произвольно выбранной точке "N" с координатами X_n, Y_n (рис. 1) скорость dV_1 , которая имеет выражение [1]

$$dV_1 = \frac{180^\circ \cdot dQ_n}{\pi z y}, \quad (2)$$

где z — расстояние точки "N" от элементарного источника;
 dQ_n — расход элементарного прямолинейного источника;

Подставляя (5) в систему уравнений (4) и проинтегрировав полученные выражения, после несложных преобразований определяем составляющие скорости от прямолинейного источника

$$\begin{cases} V_{x_1} = \frac{V_\delta}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{\ell - y_n}{x_n} + \operatorname{arctg} \frac{y_n}{x_n} \right) \\ V_{y_1} = -\frac{V_\delta}{2\pi} \ln \frac{x_n^2 + (\ell - y_n)^2}{x_n^2 + y_n^2} \end{cases} \quad (6)$$

Система элементарных прямолинейных стоков, расположенная в свободной части русла $b_0 = B - \ell$, сообщит точке "N" скорость [8]

$$dV_2 = \frac{180^\circ \cdot dQ_c}{\pi \cdot r \cdot \gamma}, \quad (7)$$

где $dQ_c = \int_{\gamma}^{\beta} V_\delta dy$ — расход элементарного стока;
 $\gamma = 180^\circ$ — угол захвата.

Составляющие скорости dV_2 выражаются следующим образом

$$\begin{aligned} dV_{x_2} &= -\frac{V_\delta \cdot x_n \cdot dy}{\pi [x_n^2 + (y - y_n)^2]}, \\ dV_{y_2} &= \frac{V_\delta (y - y_n) \cdot dy}{\pi [x_n^2 + (y - y_n)^2]}. \end{aligned} \quad (8)$$

Проинтегрировав системы уравнений по dy и упростив, получим зависимости

$$\begin{cases} V_{x_2} = -\frac{V_\delta}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{B - y_n}{x_n} - \operatorname{arctg} \frac{\ell - y_n}{x_n} \right) \\ V_{y_2} = \frac{V_\delta}{2\pi} \ln \frac{x_n^2 + (B - y_n)^2}{x_n^2 + (\ell - y_n)^2} \end{cases} \quad (9)$$

Скорости третьего составляющего — поступательного движения

$$\begin{cases} V_{x_3} = -V_\delta \\ V_{y_3} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

Подставив найденные значения скоростей в уравнения (1), получим скорости перед створом стеснения

$$\begin{cases} V_x = \frac{V_\delta}{\pi} \left[2 \operatorname{arctg} \frac{\ell - y_n}{x_n} + \operatorname{arctg} \frac{y_n}{x_n} - \operatorname{arctg} \frac{B - y_n}{x_n} \right] \\ V_y = \frac{V_\delta}{2\pi} \ln \frac{[x_n^2 + (B - y_n)^2] (x_n^2 - y_n^2)}{[x_n^2 + (\ell - y_n)^2]^2} \end{cases} \quad (11)$$

Вводим следующие обозначения:

$$\begin{aligned} \operatorname{arctg} \frac{\ell - y_n}{x_n} &= \beta_1; \quad \operatorname{arctg} \frac{y_n}{x_n} = \beta_2; \\ \operatorname{arctg} \frac{B - y_n}{x_n} &= \beta_3; \quad \beta_1 + \beta_2 = \beta'; \quad \beta_3 - \beta_1 = \beta''; \\ x_n^2 - y_n^2 &= R_1^2; \quad x_n^2 + (\ell - y_n)^2 = R_2^2; \quad x_n^2 + (B - y_n)^2 = R_3^2. \end{aligned}$$

Тогда имеем

$$\begin{cases} V_x = \frac{V_\delta}{\pi} (2\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 - \pi) \\ V_y = \frac{V_\delta}{2\pi} \ln \frac{R_3^2 \cdot R_1^2}{R_2^4} \end{cases}$$

По составляющим скорости можно определить модуль вектора скорости

$$V = \frac{V_\delta}{2\pi} \sqrt{(2\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 - \pi)^2 + \frac{1}{4} \ln^2 \left(\frac{R_3^2 \cdot R_1^2}{R_2^4} \right)} \quad (12)$$

и её направление

$$\ln \frac{R_3^2 \cdot R_1^2}{R_2^4} \quad (13)$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\ln \frac{R_3^2 \cdot R_1^2}{R_2^4}}{2(2\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 - \pi)}.$$

По определению функции тока имеем [3]

$$\frac{d\psi}{dx} = -V_y; \quad \frac{d\psi}{dy} = V_x. \quad (14)$$

Отсюда выражение функции тока запишем в следующем виде:

$$d\psi = -V_y dx + V_x dy. \quad (15)$$

Подставив в (15) значения V_y и V_x (система уравнений (II)) и проинтегрировав по dx и dy , после некоторых преобразований получим зависимость для построения линий тока перед поперечной дамбой

$$\begin{aligned} \psi = -\frac{V_\delta}{\pi} \left[(B-y) \left(\operatorname{arctg} \frac{x}{B-y} + \operatorname{arctg} \frac{B-y}{x} \right) + \frac{x}{2} \ln(x^2 - y^2) + \right. \\ \left. + y \left(\operatorname{arctg} \frac{x}{y} - \operatorname{arctg} \frac{y}{x} \right) - 2(\ell - y) \left(\operatorname{arctg} \frac{x}{\ell - y} + \operatorname{arctg} \frac{\ell - y}{x} \right) + xy \right]. \end{aligned} \quad (16)$$

Из анализа полученных формул следует, что в точках "А" и "О" величина полной скорости достигает бесконечности (с положительным знаком в точке "А" и отрицательным в точке "О"), где происходит разрыв сплошности жидкости и образования вихрей.

На рис. 2 показаны эпюры скоростей, построенные по расчету (сплошная линия) и результатам экспериментальных исследований (пунктирная).

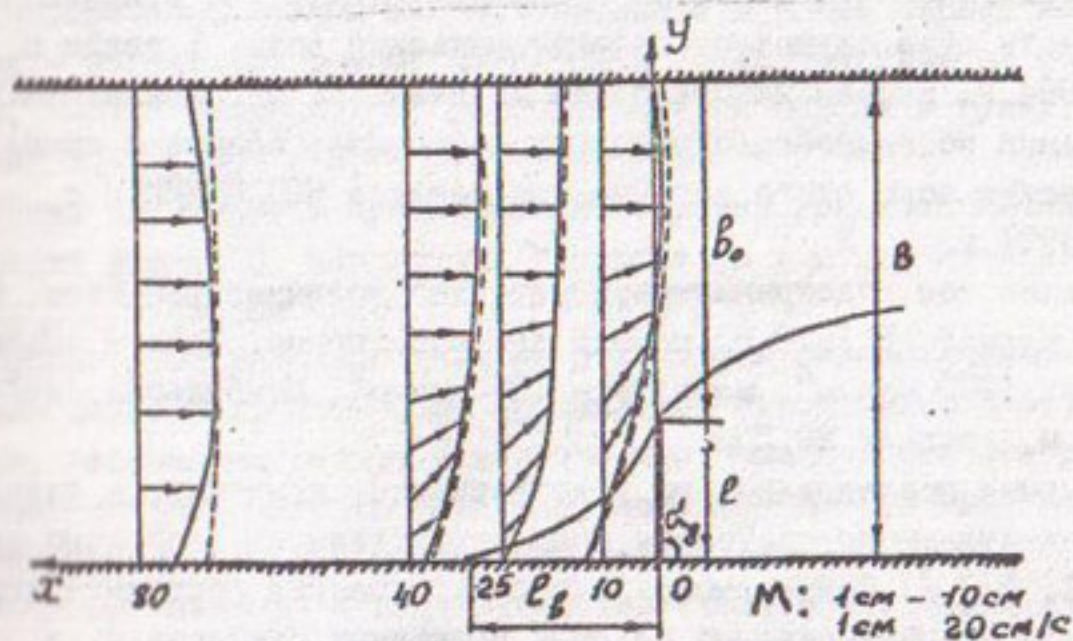


Рис. 2. Эпюры скоростей.

Анализ изучения кинематической структуры потока перед дамбой показывает, что полная скорость и направление частицы жидкости, находящейся в зоне действия поперечной дамбы, зависят от ее расстояния до сооружения, угла установки дамбы, степени сужения русла и кинетичности бытового потока.

Список использованной литературы

1. Н о в о в Н. Fluid mechanics for hydraulic engineering. 1958. 367 p.
2. Ц о в Г. А. Структура потока перед гидротехническим сооружением. Ташкент: Мехнат, 1987. 107 с.
3. Е м ц о в Б. Т. Техническая гидромеханика. М.: Машиностроение, 1978. 458 с.

В.А.Николаенко, К.В.Громыко

ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА ВОДЫ АНДИЖАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА КАК ИСТОЧНИКА ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В последние годы с ростом производительных сил в Андижанской области стал ощущаться дефицит питьевой воды. В связи с этим с 1994 г. начали использовать Андижанское водохранилище. Исследования по гидроэкологическому состоянию, оценке и прогнозу качества воды этого водоема проводились НПО САНИИРИ с 1988 по 1994 г.

Андижанское водохранилище образовано долинами рек Яссы, Карадарьи, Куршаб. В 1979 г. начато его наполнение. Полный объем составляет 1900 млн м³, мертвый – 150 млн м³. Наибольшая глубина – 100 м, средняя 29,2 м.

Натурные исследования на водохранилище, притоках, а также оценка качественного состояния воды осуществлялись согласно работам [1, 3-9]. Современное гидроэкологическое состояние его формируется преимущественно за счет природных факторов и в меньшей мере – за счет антропогенных.

В притоках водохранилища из 33 анализируемых гидрохимических показателей качества воды ПДК превышали только три: мутность, фенолы и БПК. Минерализация воды, содержание главных ионов как в притоках, так и в водохранилище обычно на 50-70% ниже ПДК, а концентрация биогенных элементов (соединения азота, фосфаты, кремний, железо) незначительна. Из анализируемых пестицидов (ДДТ, ДДД, ДДЕ, альфа- и гамма-ГХЦГ, рогор, карбофос, бутифос, метафос) в воде притоков и водохранилища обнаружены альфа- и гамма-ГХЦГ, ДДТ и метафос, концентрации которых не превышали тысячных долей ПДК. В то же время содержание фенолов в отдельные периоды в притоках достигало 9,0 значений ПДК, в водохранилище – 8,0 и в отводящем канале – 5,0. Концентрация СПАВ (0-0,16 мг/дм³) и нефтепродуктов (0-0,24 мг/дм³) не более десятых долей ПДК.

Во всех водных объектах тяжелые металлы обнаружены в микрограммовых количествах. При этом медь, цинк и хром фиксировались постоянно, свинец, молибден, титан, никель и висмут – в отдель-

ные периоды. Другие анализируемые тяжелые металлы: кобальт, серебро, вольфрам, олово, ртуть, кадмий – не найдены.

Результаты гидробиологических исследований показали следующее. В притоках водохранилища биоценоз крайне беден. Высшая водная растительность практически отсутствует. Однако в заливах и затонах рек обнаружен фитоценоз, состоящий из нитчатых зеленых водорослей, диатомовых и синезеленых. Основу зооценоза составляют реофильные организмы – личинки ручейников, поденок и херонмид. Встречаются также малощетинковые и круглые черви, из простейших – раковинные амёбы. Планктон в реках практически отсутствует. Индекс сапробности, рассчитанный по Пантле и Букку, в пределах 1,63–1,96 [3, 4].

Общая численность организмов на стрежне рек колеблется от нескольких единиц до нескольких десятков на 1 м^2 , в затонах и заливах достигает нескольких сотен на 1 м^2 .

Зоопланктон водохранилища не отличается разнообразием. Обнаружено всего лишь пять форм организмов, относящихся к ветвистоусым, веслоногим рачкам и коловраткам. Численность его достигает максимальных величин в районе плотины – до 9,3 тыс. экз/м³. При этом основную часть составляют дафнии (до 73% от общей численности организмов) и коловратки (до 27%). В отводящем канале зоопланктон не превышает 290 экз/м³.

Фитопланктон водохранилища не богат и представлен диатомовыми водорослями, преимущественно циклотеллой, численность его достигает в приплотинной части 18–43 тыс кл/дм³. В отводящем канале фитопланктон практически отсутствует, а в перифитоне доминируют диатомовые водоросли. Зооценоз канала формируется преимущественно за счет личинок насекомых.

Общая численность микроорганизмов в воде верхнего бьефа водохранилища 0,56–0,60 млн кл/см³, количество сапрофитных бактерий составляет 0,055–0,060 тыс кл/см³ и бактерий группы кишечной палочки – 0,1–1,0 кл/см³, в отводящем канале соответственно – 0,03–0,06 млн кл/см³; 0,130–0,170 тыс кл/см³ и 0,6–2,0 кл/см³.

Таким образом, установлено, что по гидробиологическим показателям воды водохранилища и отводящего канала умеренно загрязнены, индекс сапробности 1,53–1,81 и соответствует градации мезосапробности. По микробиологическим показателям вода оценивается как чистая и очень чистая. Как источник централизованного водоснабжения водохранилище относится к первому классу качества во-

ды [4].

Естественный гамма-радиационный фон района водохранилища составляет 10-16 мкр/ч, а общая бета-активность донных отложений - 0,6-0,7 бета-частиц/мин см². Согласно нормам НРД 76/87 и ОСН 72/87, по всем показателям радиологическая обстановка района водохранилища находится в пределах начальных значений допустимых величин - 0,05-0,06 от ПД и 0,015-0,017 от СДК и не вызывает опасений для гидробионтов и населения [9].

Прогноз качества воды водохранилища по гидрохимическим показателям выполнен на основании "Методических рекомендаций..." [2, 6]. Расчет перспективной концентрации загрязняющих веществ в исследуемых водных объектах проводился по формуле А.П. Браславского [2]

$$M_k = M_n + (M_p \frac{V_n}{V_n - V_w + V_{oc}} - M_n) \cdot B,$$

где
$$B = I - \left(\frac{V_n}{V_k} \right) I + \frac{\frac{V_c}{V_E}}{I - \frac{V_n}{V_k}},$$

M_k - концентрация загрязняющего вещества в конце расчетного уровня;

M_n - то же, в начале расчетного интервала времени, г/м³;

V_n - начальный объем водохранилища, тыс м³;

V_p - водный объем притоков за расчетный период, тыс м³;

V_w - объем потерь воды на испарение, тыс м³;

V_c - объем изъятия воды из водоема за расчетный период, тыс м³;

V_{oc} - объем осадков, выпавших на поверхность водоема, тыс м³;

V_k - объем воды в конце расчетного периода, тыс м³;

M_p - средневзвешенная за расчетный период концентрация загрязняющего вещества в притоке, г/м³.

Результаты расчета прогноза качества воды представлены в таблице.

Согласно прогнозным данным, в ближайшей перспективе следует ожидать превышения ПДК только по фенолам и мутности. Концентрация показателей качества воды, относящихся к санитарно-токсикологическим ЛПВ, будет находиться в пределах установленных норм ПДК.

По гидробиологическим показателям вода водохранилища будет считаться как умеренно загрязненная, а по микробиологическим -

Ожидаемые значения основных гидрохимических показателей качества воды Андижанского водохранилища на уровень 2010 г.

Компонент	Концентрация веществ и их значение по отношению к ПДК			
	среднегодовая		максимальная	
	С, г/м ³	С/ПДК	С, г/м ³	С/ПДК
Общесанитарный ЛПВ				
Минерализация	360	0,36	550	0,55
Общая жесткость	4,5 (ммоль)	0,60	6,0	0,90
ННХ _{полн.}	2,2	0,70	2,9	0,95
ХНХ	9,0	0,60	13,0	0,90
Цинк	0,002	0,002	0,015	0,015
Органолептический ЛПВ				
Железо	0,08	0,30	0,20	0,70
Фенолы	0,003	3,00	0,008	8,00
Нефтепродукты	0,04	0,15	0,25	0,80
М-ГХЦГ (10 ⁻³)	0,01	0,50	0,05	2,50
Медь	0,005	0,005	0,01	0,01
Санитарно-токсикологический ЛПВ				
СПАВ	0,05	0,10	0,08	0,20
Азот аммония	0,35	0,20	0,55	0,30
Азот нитритов	0,02	0,02	0,10	0,10
Азот нитратов	1,30	0,10	2,30	0,20
Никель	0,002	0,02	0,007	0,07
Хром	0,001	0,02	0,005	0,10
Свинец	0,001	0,03	0,006	0,20
Молибден	0,002	0,01	0,020	0,10
Алюминий	0,003	0,01	0,008	0,02
Ртуть	0	0	0	0

как чистая и очень чистая.

Список использованной литературы

1. А л е к и н О. А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 113 с.
2. Б р а с л а в с к и й А. П. Расчет минерализации воды в водохранилищах // Гидрохим. материалы. Т.32. М.: Гидрометеиздат, 1961. С.72-96.
3. ГОСТ 2874-82. Вода питьевая. Гос.ком. СССР по стандартам. М., 1982. 7 с.
4. ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. М., 1989. 14 с.
5. СанПиН 4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. Минздрав СССР. М., 1988. 69 с.
6. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / Под ред. А.В. Караушева. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 285 с.
7. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А.Д.Семенова. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 541 с.
8. Методы определения вредных веществ в воде водоёмов / Под ред. А.П.Шицковой. М.: Медицина, 1981. 376 с.
9. К у з н е ц о в Ю. В., Щ е б е т к о в с к и й В. Н., Т р у с о в А. Г. Основы очистки воды от радиоактивных загрязнений. М.: Атомиздат, 1974. С.9-56.

УДК 519.6

О.Б.Евдаков

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА КАК СОВРЕМЕННЫЙ СПОСОБ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Современный уровень информационного оборудования позволяет манипулировать большими объёмами информации. Существующие накопительные средства (винчестеры, лазерные, магнитные, магнитно-оптические диски, обладающие значительной информационной ёмкостью, скоростью записи и считывания) уже сейчас позволяют отбросить проблемы хранения информации. Практически каждый день появляются все более и более усовершенствованные их прототипы, по-

этому в настоящее время возникает проблема разумного использования существующей информации.

Рассмотрим участок земли размером 10 га, определенной формы, с уклоном, географическими координатами, рельефом, структурой почвы, физическим и химическим её составом, уровнем подземных вод, их минерализацией и химическим составом, составом сельскохозяйственных культур, способом их орошения, урожайностью, количеством солнечной радиации в различное время года, осадками, экономическими, хозяйственными, антропогенными и другими характеристиками. Умножим этот объём информации на число лет, месяцев, декад, дней, часов наблюдений (допуская, что вся информация существует или доступна) и попытаемся представить это в табличном виде, что не всегда возможно. Даже при удачном выборе структуры таблицы получим очень большой объём информации только для одного участка. А если попытаться описать бассейн, например, Аральского моря, получим множество не о чем не говорящих цифр, на их анализ будет затрачено очень много времени. Следовательно, необходима система, которая бы могла проводить анализ содержащейся информации, т.е. на основе уже существующих данных выдавать новые; максимально облегчить ввод и вывод содержащейся информации или результатов её анализа; быть доступной не только для программиста, но и для человека, не имеющего навыков работы с компьютером; обладать высокими скоростями обработки.

Наиболее восприимчиво графическое восприятие информации. На заключительном этапе большинства расчетов создаются карты, строятся графики и чертежи, которые позволяют визуально определить результат этой работы.

Следовательно, оптимальным вариантом являлась бы система с элементами графического и математического анализа, позволяющая в графической увязке вводить и выбирать информацию.

Представим участки в графическом виде: их формы, географические координаты, рельеф, уклон и все остальные параметры, и в то же время введём и выберем соответствующую участку или группе участков информацию, т.е. необходимо создать географическую информационную систему (ГИС) – географически увязанная база данных с элементами графического и математического анализа.

25 лет назад географы поставили цель создать систему для хранения и организации пространственных данных с помощью компьютера. Спустя 10 лет эта усиденно развивающаяся технология полу-

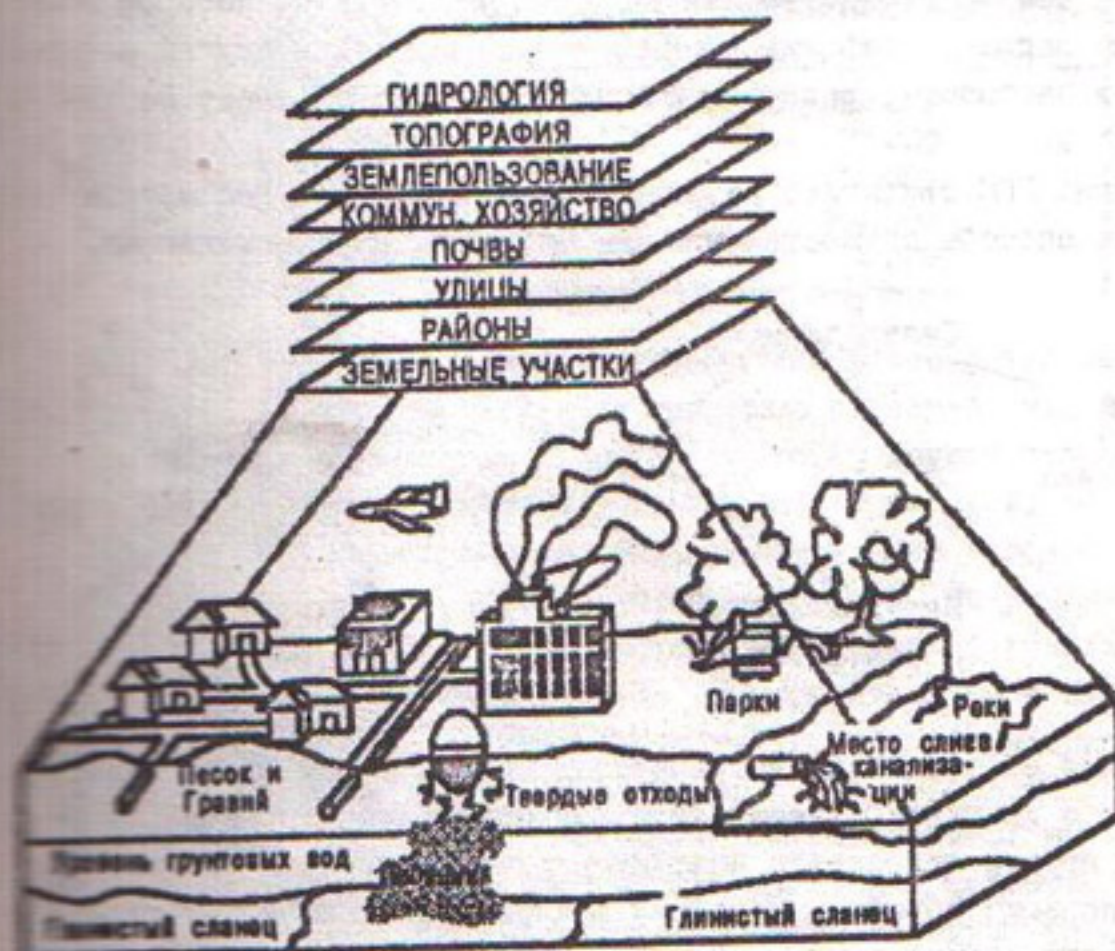
чила название "Географические информационные системы" (ГИС). Одновременно с технологией развивались области её применения. Учитывая многообразие областей применения ГИС: от высококачественной картографии до планирования землеустройства, управления природными ресурсами, оценки и планирования состояния окружающей среды, картирования данных о налогообложении, экологических исследований, организации аварийно-транспортной службы, демографических исследований и т.д., можно отметить, что именно ГИС обещает стать одной из наиболее обширных сфер применения компьютерной техники.

Интерес к этой технологии не случаен. ГИС позволяет интегрировать информацию для понимания и определения мест самых неприятных проблем, с которыми мы сейчас сталкиваемся. Это сведение тропических лесов, кислотные дожди, ускоряющийся процесс урбанизации, перенаселенность, проблемы голода и воздействие изменений глобального климата. Технология ГИС позволяет организовать данные по этим проблемам, а также определить их пространственные взаимоотношения. Эти знания служат основой для принятия более точных и разумных решений.

Использование географических информационных систем резко возросло в 80-е годы от полной неизвестности до повседневной работы в сфере бизнеса, университетах и правительственных органах. Определение ГИС можно сформулировать как организованный набор аппаратуры, программного обеспечения, географических данных и персонала, предназначенный для эффективного ввода, хранения, обновления, обработки, анализа и визуализации всех видов географически привязанной информации. Или, другими словами: компьютерная система, способная хранить и использовать данные, описывающие места на земной поверхности.

Многие компьютерные программы широкого применения типа электронных таблиц (*Lotus 1-2-3*), статистических (*SAS* и *Minitab*) или чертежных пакетов (*AutoCAD*) могут обрабатывать простые географические или пространственные данные. Почему их обычно не считают ГИС? Ответ заключается в том, что существенная особенность ГИС – наличие пространственных операций с данными. В качестве примера рассмотрим следующие данные:

Название	Широта	Долгота	Число пользователей ГИС
Лондон	51° с.ш.	0°	80
Париж	47° с.ш.	8° в.д.	25
Муретт	52° с.ш.	5° в.д.	40
Сенте-Барбара	34° с.ш.	119° з.д.	50
Орлеан	45° с.ш.	69° з.д.	30
Бурбало	42° с.ш.	78° з.д.	30



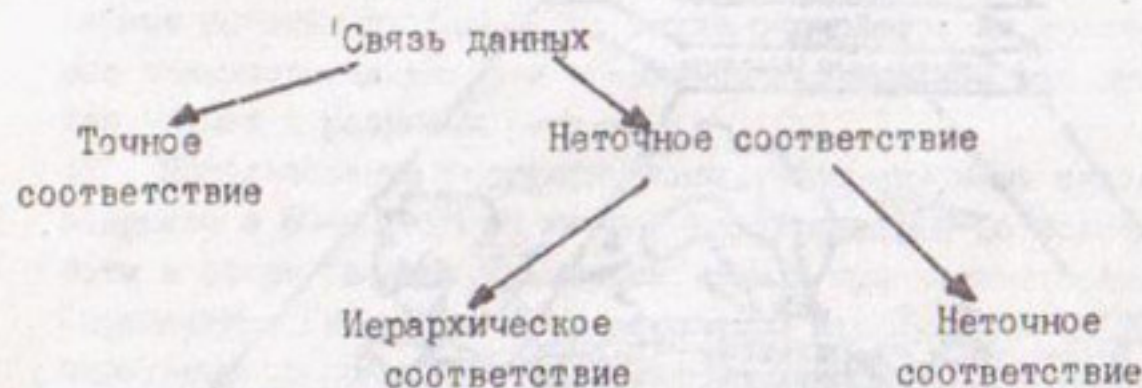
Реальный мир состоит из многих географических компонентов, которые могут быть представлены в качестве связанных слоев данных.

Они показывают примерное количество людей, использовавших определенные аспекты ГИС в указанных центрах в 1989 г.

Вопрос "Каково среднее количество специалистов, работающих с ГИС в каждом месте" не является пространственным запросом. Ответ на него не использует координаты центров и не описывает их относительное расположение.

"Сколько специалистов работает с ГИС в главных центрах Западной Европы?", "Какие центры расположены в пределах 1000 миль друг от друга?", "Каков кратчайший маршрут, связывающий все эти центры?". Это пространственные запросы, ответить на которые можно только воспользовавшись данными о координатах и другой информацией, в частности, радиусом Земли. ГИС легко отвечает на такие вопросы.

Обычно ГИС связывает различные наборы данных. Рассмотрим возможные способы осуществления связей между наборами данных.



Точное соответствие встречается, если в одном файле имеются данные о каких-либо географических объектах, например, округах, а в другом содержатся дополнительные сведения о тех же объектах. Операция объединения таких файлов несложная и выполняется с помощью общего ключа – в данном случае названия округов. Таким образом, из обоих файлов извлекается информация, относящаяся к одному и тому же округу, объединяется и записывается в третий файл.

Эти данные могут быть объединены благодаря точному соответствию названий округов.

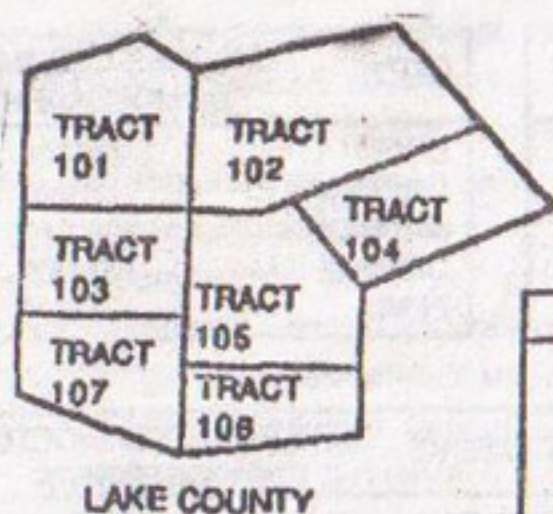
ОКРУГ	НАСЕЛЕНИЕ	ОКРУГ	СРЕДНЯЯ СТОИМОСТЬ ДОВОЛАДЕНИЯ
LAKE	108.000	LAKE	89.000
LINCOLN	45.000	LINCOLN	77.000
MADISON	213.000	MADISON	104.000
ORANGE	1.145.000	ORANGE	167.000
PENN	22.000	PENN	75.000

ОКРУГ	НАСЕЛЕНИЕ	СРЕДНЯЯ СТОИМОСТЬ ДОВОЛАДЕНИЯ
LAKE	108.000	89.000
LINCOLN	45.000	77.000
MADISON	213.000	104.000
ORANGE	1.145.000	167.000
PENN	22.000	75.000

Некоторые виды информации собираются более детально или менее часто, чем другие. Финансовые данные о безработице для больших территорий собираются довольно часто. С другой стороны, данные о населении собираются для небольших территорий, но с более продолжительными интервалами. Если более мелкие территории вложены (т.е. точно помещаются внутри) в крупные, то решение вопроса о связи данных для той же территории состоит в использовании иерархического соответствия, надо суммировать данные по всем меньшим территориям, входящим в более крупную территорию, а затем использовать точное соответствие.

Иерархическая структура территории, показанная на рис.1, свидетельствует, что страна имеет ряд районов. Для того чтобы получить данные по стране в целом, следует просуммировать сведения по отдельным районам.

Во многих случаях границы более мелких территорий не связаны с границами более крупных. Это особенно заметно при работе с природными данными. Так, границы посевных культур, обычно определяемые границами полей, редко соответствуют границам типов почв. Чтобы определить самую продуктивную почву для отдельной культуры, нужно наложить друг на друга два набора данных и вычислить урожайность каждой культуры на каждом типе почвы. Это напоминает наложение одной карты на другую и выписывание комби-



TRACT	COUNTY	POPULATION
101	LAKE	14,000
102	LAKE	20,000
103	LAKE	5,000
104	LAKE	20,000
105	LAKE	18,000
106	LAKE	22,000
107	LAKE	78,000

Рис. 1.

наций продуктивности культур и почв (рис. 2).



Рис. 2.

Если границы контуров в рахит слоях не совпадают, слои можно объединить, создав новый слой, содержащий характеристики обоих слоев.

ГИС способны выполнять все эти операции потому, что в качестве общего ключа наборов данных они используют географическое (пространственное) положение. Информация связывается, только если она относится к одной и той же территории.

Почему связь между данными столь важна? Рассмотрим ситуацию, когда для данной территории есть два набора данных, например, средний годовой доход по округам и стоимость домовладений в этих же округах. Каждый набор данных можно анализировать и (или) картировать порознь. Но можно их и объединить. Два набора данных дают единственную комбинацию при объединении. Однако, если имеется 20 наборов данных для округа, то количество возможных комбинаций составит около миллиона. Не все они дадут ответ на какой-либо осмысленный запрос (например, комбинация типов почв и безработицы бессмысленна), однако в общем появится возможность ответа на гораздо большее количество вопросов, чем при раздельном изучении этих наборов данных. При объединении данных увеличивается ценность базы данных. Чтобы сделать это, нужна ГИС.

Рассмотрим бассейн Аральского моря, где территориальное деление — республика, область, район, хозяйство — сочетается с водохозяйственным, а также гидромодульным районированием, зачастую территориальные единицы расположены в нескольких водохозяйственных. При наличии необходимых данных нетрудно подсчитать, сколько процентов области расположено в одном гидромодульном районе, а сколько в другом. Но достаточно много времени займёт определение процентной доли и формы участков в данной области, расположенных в определенном гидромодульном районе, с определенным уклоном, глубиной залегания грунтовых вод и т.д. Другими словами, нужно создать совершенно новый географический информационный слой путём графического анализа существующих. Или, например, необходимо составить карту эрозии почвы на основе математического и графического анализа карт и данных по почвам, уклонам, видам орошения, осадкам, ГИС может осуществлять это очень быстро.

Объектно-ориентированные приложения позволяют создавать новые путём объединения существующих. Так, если нужно создать непростую географическую систему, достаточно редактора ARC VIEW, с помощью которого можно создать информационную базу в увязке

с географической. Но при создании сложной ГИС, способной анализировать графическую и математическую информацию, одного редактора ARC VIEW недостаточно. Он превращается в составной компонент ГИС. В качестве информационной базы здесь может быть использовано множество объектно-ориентированных, реляционных баз данных, таких как ACCESS (связь ACCESS и ARC VIEW осуществляется через ODBC SERVER). Но основным компонентом ГИС является приложение, анализирующее графическую и математическую информацию – ARC INFO, позволяющую описывать взаимосвязь графических слоёв и объектов в них, а также производить дигитализацию карт. Следующим необязательным составным компонентом является объектно-ориентированный язык программирования высокого уровня – VISUAL BASIC VISUAL C и т.д.

В настоящее время существует множество разработок программного обеспечения, которые могут быть использованы для создания и управления ГИС. Довольно трудно выбрать один из них, являющийся совершенным, все они обладают преимуществами по отношению к другим, так что выбор инструмента зависит от спецификации ГИС. ARC VIEW и ARC INFO [1, 2] являются пакетами, полностью совместимыми как друг с другом, так и с множеством программных приложений под WINDOWS и OS/2. Их совместное использование позволяет удовлетворить все требования, предъявляемые к ГИС.

Список использованной литературы

1. "Understanding GIS. The ARC/INFO Method" Environmental Systems Research Institute.
2. "PC ARC/INFO" Environmental Systems Research Institute.

УДК 627.43

А.Г.Савицкий, О.Н.Тихонова

ПОДХОД К РАСЧЕТУ РАЗРУШЕНИЙ ДАМБ, ПЛОТИН И ИНЫХ НАСИПНЫХ СОСРУЖЕНИЙ

Расчет взаимного движения соприкасающихся частиц сопряжен с большими сложностями: неприемлемы законы гидродинамики, так как частицы взаимодействуют твердыми частями, неприменима теория упругости, поскольку деформации в момент разрушения комплекса твердых частиц сменяются скоростями деформаций. Реологи-

классе тело Навье-Кулона, ответственное за возникновение сил трения между взаимодействующими частицами, не имеет пространственного обобщения. Сведений о нём не встречается ни в отечественной, ни в зарубежной литературе. Существующие методы расчета подвижек в вязком теле, в частности при разрушении откосов, основано на предположении первоначально заданной формы поверхности предстоящего разрушения, т.е. заранее задают форму того, что ищут. Разрушение начинается с точки, которая развивается в поверхность и, наконец, затрагивает весь объём [1]. Полную информацию об описанных процессах может дать только решение уравнения движения в напряжениях, дополненных обобщенными на пространство закономерностями закона сухого трения Навье-Кулона.

Закон сухого трения определяет трение, возникающее в плоскости соприкосновения твёрдых тел при воздействии компланарном напряжении соприкосновения. Рассмотрим твердое тело, лежащее на твёрдой горизонтальной плоскости. Приложим к нему силу, сдвигающую его по этой поверхности. По мере возрастания сдвигающей силы твёрдое тело визуально остаётся неподвижным. Однако более точные эксперименты покажут наличие сдвиговых деформаций в теле. Будем считать, что они связаны с деформациями сдвига, возникающими непосредственно в материалах соприкасающихся тел.

При достижении сдвигающей силы определенной величины $F_c > F_{тр. пак}$ тело приходит в движение по плоскости скольжения. Сила трения вычисляется на основании закона Навье-Кулона. Мы будем рассматривать тела, в которых сила трения не зависит от скорости относительного движения тел, что верно для большинства случаев, решаемых в инженерной практике [1]

$$F_{тр} = K_{тр} \cdot P + C, \quad (I)$$

- где $F_{тр}$ - сила трения скольжения;
 $K_{тр}$ - коэффициент трения скольжения;
 P - сила, прижимающая тело к поверхности скольжения;
 C - константа сцепления.

Константа сцепления C , входящая в формулу (I), для твёрдых тел определяется силой межмолекулярного взаимодействия, а для сыпучих - силой заземления частиц и сцепления их друг с другом неровностями поверхности. Константа сцепления для сыпучих тел зависит от материала, размеров, фракционного состава, формы и те-

роховатости поверхности частиц. В дальнейшем C принимается не зависящей от величины и интенсивности изменения нагрузки.

Формула (1) не распространяема на трёхмерное пространство. Левая часть уравнения обозначает силу, в общем случае вектор, правая часть — скаляр, что подчеркивается физической сущностью константы сцепления. Величина нормального по отношению к поверхности скольжения давления P не может определить направление силы трения Навье-Кулона, так как по условию вектор силы трения перпендикулярен вектору нормального давления. Таким образом, для обобщения на пространство векторная запись закона Навье-Кулона возможна только в следующей форме:

$$\vec{F}_{тр} = -K_{тр} \cdot \{ \vec{P} \cdot \vec{n} + C \} \cdot \vec{V} / |\vec{V}| \cdot A \quad (2)$$

$$A = 1 \text{ при } \vec{P} \cdot \vec{n} + C > 0$$

$$A = 0 \text{ при } \vec{P} \cdot \vec{n} + C < 0.$$

Здесь вектор скорости движения твёрдого тела определён в системе координат, связанной с поверхностью скольжения, и единичный вектор $\vec{n}$ определен как внутренний к этой поверхности скольжения относительно твёрдого тела и нормальный по отношению к ней. Физический смысл векторной единицы, входящей сомножителем в закон Навье-Кулона, следующий: векторная единица $\vec{V}/|\vec{V}|$ определяет направление действия силы трения в сторону, противоположную направлению вектора скорости твёрдого тела. Скаляр $(\vec{P} \cdot \vec{n} + C)$ определяет результирующую силу нормального давления, прижимающую твёрдое тело к поверхности скольжения. Скаляр равен модулю силы трения Навье-Кулона. Константа A определяет наличие или отсутствие контакта между трущимися частями, прижатыми друг к другу некоторыми внешними силами. Анализ процесса сухого трения как факта и формулы (2), описывающей данный закон, вскрывает некоторый парадокс. Часто считают силу трения в объекте, который никто и никуда не двигает. Ясно, что методологически это не верно.

Рассмотрим твёрдое тело, лежащее на горизонтальной поверхности. Векторная единица в математическом плане является неопределенностью, и лишь практика подсказывает нам, что она равна нулю, так как только таким образом можно объяснить равенство нулю силы трения при отсутствии внешней силы, пытающейся сдвинуть тело. Допустим появилась малая внешняя сила, меньшая

силы трения, рассчитанной по закону Навье-Кулона. Это значит, что тело не будет двигаться, но это означает, что обязательно должна существовать сила иной природы, компенсирующая внешнее воздействие. Данная сила может быть силой, порожденной деформацией тела. Таким образом, сила трения Навье-Кулона действует только при наличии иных внутренних сил (упругости, пластичности, вязкости), действующих в материале тела. Она введена для того, чтобы подчеркнуть, что сила возникает только при контакте двигающихся друг относительно друга твердых тел. Какой-либо дополнительной информативностью формула (2) перед общеизвестной (I) не обладает, но в векторной форме вскрывает взаимосвязь скорости движения твердого тела по плоскости скольжения и силы трения, возникающей при этом.

Рассмотрим физическое тело, состоящее из серии плоских пластин с конечной толщиной d . Введём вектор, перпендикулярный плоскостям пластин, и вектор V , компланарный этим пластинам. Тогда с учетом поставленной задачи, разделив и умножив правую часть формулы (2) на величину d , получим

$$F_{Tp} = K_{Tp} (\bar{p} \cdot \bar{n} + c) \cdot A \frac{\frac{\bar{V}_i - \bar{V}_i - I}{d}}{\frac{|\bar{V}_i - \bar{V}_i - I|}{d}}, \quad (3)$$

где $\bar{V}_i$, $\bar{V}_i - I$ - соответственно векторы скоростей движения верхней и нижней пластин при условии, что система координат связана с нижней плоскостью.

Если устремить d к нулю, то формула (3) примет вид

$$F_{Tp} = -K_{Tp} (p \cdot n + c) \cdot A \frac{\frac{d(\bar{V})}{dz}}{\left| \frac{d(\bar{V})}{dz} \right|}. \quad (4)$$

Вводя обозначение

$$M = K_{Tp} (p \cdot n + c) \cdot A \frac{1}{\left| \frac{d(\bar{V})}{dz} \right|}, \quad (5)$$

получим

$$F_{тр} = -M \cdot \frac{d(\bar{V})}{dZ}, \quad (6)$$

где $d(V)$ – разность скоростей движения в двух соседних слоях;

dZ – расстояние между соседними слоями.

Формула полностью совпадает по структуре с законом вязкого трения Ньютона

$$\bar{F}_{тр} = -M \cdot \frac{d(\bar{V})}{dZ}, \quad (7)$$

но в данном случае величина M является коэффициентом динамической вязкости жидкости.

Тождество данных уравнений позволяет заключить, что направление сил внутреннего трения в реологическом теле Навье-Кулона и в вязкой жидкости Ньютона совпадает при тождестве полей вектора скорости. Известно, что для реологического тела Ньютона это направление определяется расходимостью тензора скоростей деформаций поля вектора V . Значит и для закона Навье-Кулона правомерна данная закономерность, т.е.

$$\bar{F}_{тр} = -M \cdot \text{div}(\Pi), \quad (8)$$

где Π – тензор напряжений, возникающий в реологическом теле Навье-Кулона;

M – скалярная функция, связанная с деформациями и напряжениями нормального сжатия.

Эксперименты показывают, что на модуль напряжений, возникающий в реологическом теле Навье-Кулона, не влияют скорости V . Это утверждение можно записать в математической форме

$$F_{тр} = -M_i \cdot \text{div}(\Pi) / |\text{div}(\Pi)|, \quad (9)$$

M_i – коэффициент пропорциональности, зависящий от векторного поля сжимающих напряжений Π_s и величины сцепления C , которая может рассматриваться как некоторое шаровое гидростатическое сжатие.

Таким образом, сила трения может корректно описываться только в плоском или трехмерном пространстве; она существует только

в комплексе с действием иных сил.

Покажем путь обобщения закона сухого трения Навье-Кулона на примере постановки задачи по прочности насыпных плотин в плоском пространстве.

Предположим, что тело плотины состоит из плотно уложенных упругих частиц, размерами которых, по сравнению с размером плотины, можно пренебречь.

Тогда второй закон Ньютона для каждой точки тела плотины можно записать в виде [2]

$$\frac{d\bar{V} \cdot \rho}{dt} = \text{div}(\Pi), \quad (10)$$

где $\bar{V}$ - вектор скорости;
 Π - тензор плотности потока импульса;
 div - дивергенция;
 ρ - плотность.

Известно, что любой тензор разложим на симметричную и асимметричную части. Данный тензор симметричный, поскольку вращение бесконечно малого объема среды не рассматривается.

Кроме того, симметричный тензор представим в виде суммы двух тензоров: чистого сдвига (Π_c) и чистого гидростатического сжатия ($\Pi_{ш}$)

$$\Pi = \Pi_{ш} + \Pi_c \quad (11)$$

Для наглядности последующих операций рассмотрим плоский случай пространства, зная что все действия, приведенные ниже, применимы и на трёхмерное пространство.

Известна и полностью подтверждена практикой связь тензора напряжений упругого тела и тензора деформаций

$$\Pi_{ш} + \Pi_c = \lambda \cdot T_{ш} + \mu \cdot T_c, \quad (12)$$

где $T_{ш}$, T_c - шаровая и гидростатическая части тензора деформаций. Компоненты общего тензора напряжений выразятся через компоненты тензора деформаций следующим образом [3]:

$$\lambda \cdot T_{ш} + \mu \cdot T_c = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{vmatrix}, \quad (13)$$

$$A_{11} = 2 \cdot m \cdot \frac{INT(V_x)}{dx} + \mu \cdot \left[\frac{dInt V_x}{dy} + \frac{dInt V_y}{dx} \right], \quad (14)$$

$$A_{12} = A_{21} = m \cdot \left[\frac{INT(V_x)}{dy} - \frac{INT(V_y)}{dx} \right], \quad (15)$$

$$A_{22} = 2 \cdot m \cdot \frac{INT(V_y)}{dy} + \mu \cdot \left[\frac{dInt V_x}{dy} + \frac{dInt V_y}{dx} \right], \quad (16)$$

где $INT(V)$ – интеграл от составляющих скорости по времени, т.е. деформация.

Фактически div (II) характеризует равнодействующую всех сил, действующих в окрестности расчетной точки. Тензор напряжений для упругого тела в плоском пространстве выглядит в виде матрицы

$$\begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{vmatrix} = 0. \quad (17)$$

Матрица симметрична, и поэтому всегда имеет два зависимых ортогональных собственных вектора I и m и два собственных числа λ_1, λ_2 .

Причем векторы I и m характеризуют ориентацию эллипса деформаций (плоский случай) и даже называются главными направлениями тензора, а λ_1 и λ_2 – величину полуосей этого эллипса деформаций.

Собственные числа λ_1 и λ_2 находятся по формуле

$$\begin{vmatrix} A_{11} - \lambda_1 & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} - \lambda_2 \end{vmatrix} = 0; \quad (17a)$$

Откуда

$$\lambda_1 = A_{11} + A_{22} + \sqrt{\frac{A_{11} \cdot A_{22} + 2 \cdot A_{11} \cdot A_{22} + A_{22} \cdot A_{22} - 4 \cdot A_{11} \cdot A_{22} + 4 \cdot A_{12} \cdot A_{21}}{2}}, \quad (18)$$

$$\lambda_2 = A_{11} + A_{22} - \sqrt{\frac{A_{11} \cdot A_{22} + 2 \cdot A_{11} \cdot A_{22} + A_{22} \cdot A_{22} - 4 \cdot A_{11} \cdot A_{22} + 4 \cdot A_{12} \cdot A_{21}}{2}}. \quad (19)$$

если $a_{12} = a_{21}$, что гарантируется симметричностью тензора, то имеем всегда два действительных числа λ_1 и λ_2 , причем во всех возможных случаях.

Найдём значения главных направлений из систем

$$\begin{aligned} a_{11} \cdot l_1 + a_{12} \cdot m_1 &= 1 \cdot l_1 & a_{11} \cdot l_2 + a_{12} \cdot m_2 &= 2 \cdot l_2 \\ a_{21} \cdot l_1 + a_{22} \cdot m_1 &= 1 \cdot m_1 & a_{21} \cdot l_2 + a_{22} \cdot m_2 &= 2 \cdot m_2. \end{aligned} \quad (20)$$

Откуда

$$(l_1, l_2) = \frac{(\lambda_1, \lambda_2) - A_{22}}{\sqrt{A_{22} \cdot A_{22} + (\lambda_1, \lambda_2) \cdot (\lambda_1, \lambda_2) - 2 \cdot (\lambda_1, \lambda_2) \cdot A_{22} + A_{22} \cdot A_{22}}} \cdot (\lambda_1, \lambda_2), \quad (21)$$

$$(m_1, m_2) = \frac{1}{\sqrt{A_{22} \cdot A_{22} + (\lambda_1, \lambda_2) \cdot (\lambda_1, \lambda_2) - 2 \cdot (\lambda_1, \lambda_2) \cdot A_{22} + A_{22} \cdot A_{22}}} \cdot (\lambda_1, \lambda_2). \quad (22)$$

Возможна ситуация, когда $m_1, m_2 = 0$ тогда $\lambda_1, \lambda_2 = \lambda_1, \lambda_2$.

Но из условия ортогональности главных направлений следует для данного случая формула

$$\begin{array}{c|c} m_1 = 0 & \lambda_1 = \lambda_1 \\ \hline m_2 = \lambda_2 & \lambda_1 = 0 \end{array} \quad (23)$$

или, наоборот

$$\begin{array}{c|c} m_1 = \lambda_1 & \lambda_1 = 0 \\ \hline m_2 = 0 & \lambda_1 = \lambda_2 \end{array} \quad (24)$$

возможно условие, когда оба вектора равны нулю одновременно. Это обозначает, что ни деформаций, ни напряжений, ни иных векторов нет.

$$\text{То есть } \lambda_1 = \lambda_2 = 0. \quad (25)$$

Определим вектор результирующих сил величиной

$$Fr = \text{Div}(\pi). \quad (26)$$

Тогда сжатие среды в направлении ортогональном вектору $\bar{Fr}$ выражается формулой

$$R = \left[\left[Fr \, l_1 \right] + \left[Fr \, l_2 \right] \right], \quad (27)$$

где $Fr \parallel 1$ - проекция вектора главной деформации $L \parallel 1$ на вектор (единичный), совпадающий с направлением расхождимости тензора деформаций;

$Fr \parallel 2$ - проекция вектора главной деформации $L \parallel 2$ на вектор (единичный), совпадающий с направлением расхождимости тензора деформаций.

Величины $\bar{P} \cdot \bar{n}$ и R описывают одну и ту же характеристику нормального прижима трущихся тел.

Значит максимально возможная сила трения составит величину

$$F_{max} = -K_{тр} \cdot (R + C). \quad (28)$$

Существенное значение имеет превосходство силы трения над результирующей силой $div(\Pi)$ от действия упругих сил. Если F_{max} больше по модулю, нежели $div(\Pi)$, действуют упругие силы, иначе действовать начинает только сила трения, рассчитываемая по формуле (28) при условии, что $C = 0$.

Общее уравнение движения тела, составленного из множества упругих частиц, будет иметь вид

$$\begin{aligned} \frac{dpV}{dt} = & F + B \cdot [(1+m) grad \, div(INT(V)) + div \, grad(INT(V))] + \\ & + (1-B) \cdot [-K_{тр} \cdot (R) Fr / |Fr|]. \end{aligned} \quad (29)$$

К данной системе можно добавить уравнение неразрывности для того, чтобы отслеживать перераспределение вещества в разрушающейся плотине или дамбе

$$\frac{dp}{dt} + Div \, pV = 0. \quad (30)$$

Для наглядности работы систем уравнений, описывающих движение сыпного тела, состоящего из множества дискретных упругих частиц, выбран изначально неустойчивый объект. Это сыпное сооружение, имеющее в начальный момент времени поперечное сечение в виде квадрата. Оно находится на абсолютно недеформируемой подставке. Граничное условие "тело-воздух"

$$\left. \frac{d \, Int \, \bar{V}}{d \, n} \right|_{L1} = 0, \quad (31)$$

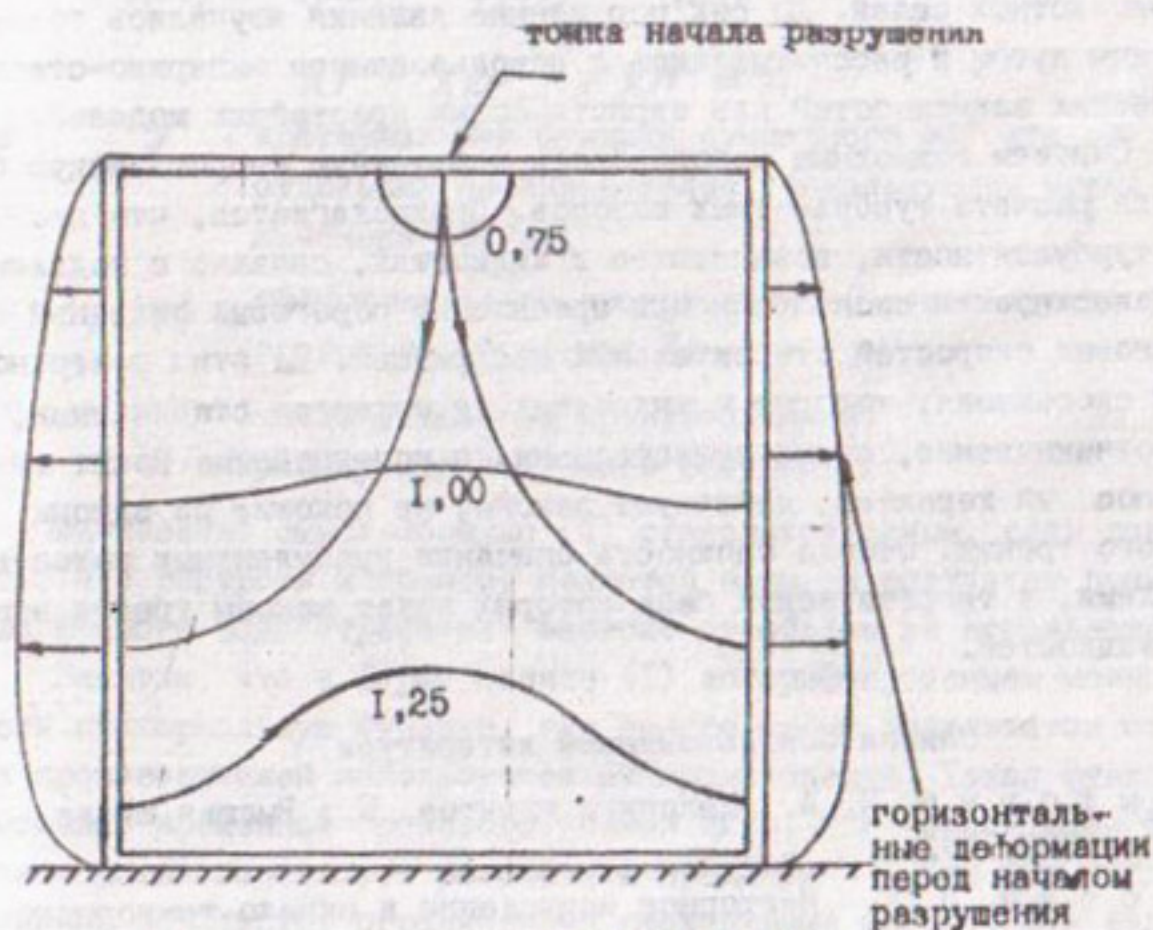
где $L1$ - граница "тело-воздух", а именно: боковые и верхняя стороны квадрата,

Граничное условие "тело-подставка"

$$\left. \text{Int } \bar{V} \right|_{L2} = 0, \quad (32)$$

где $L2$ - граница "тело-подставка", а именно: нижняя сторона квадрата.

Как показывает расчет, разрушение начинается всегда с одной точки. Включаются упругие силы, действующие в её окрестности, и тем самым резко усиливается результирующая упругих сил в соседних точках. Сила трения становится меньше данной величины и начинается разрушение. На рисунке представлено тело плотности с изолиниями запаса сил трения над упругими силами. Изолиния с значением I окружает точки начала разрушения.



План расположения изолиний запаса сил трения над силами упругих напряжений

До сих пор при расчете прочности плотины использовались методы, в которых линия разрушения задаётся. Ясно, что это математическая абстракция ничего не имеет общего с реальностью. При описании данного подхода мы намеренно не указывали тензор напряжений упругого тела. Вместо него может стоять тензор вязкого, пластичного или любого другого реологического тела. Важно то, что впервые дано пространственное обобщение сухого трения Навье-Кулона. Отметим, что в связи с отсутствием такого обобщения до сего времени науки, как механика грунтов, механика сыпучих тел развивались как сугубо экспериментальные, а технологии, как порошковая металлургия и строительство из насыпного материала не имели теоретической базы.

На основе обобщения приведенного выше можно рассчитывать любые механические явления, возникающие в телах, составленных из дискретных частиц: в частности прочности плотин, дамб, насыпей, о сходе и ударном воздействии оползней, обвалов, лавин и даже высокоплотных селей. До сих пор данные явления изучались только опытным путём и рассчитывались с использованием эмпирико-статистических зависимостей или эвристических простейших моделей.

Считаем возможным использовать полученную теоретическую базу для расчета турбулентных потоков. Предполагается, что явление турбулентности, возникающее в жидкостях, связано с появлением поверхностей скольжения при превышении пороговых значений сдвиговых скоростей относительных деформаций. На этих поверхностях скольжения, которые в жидкостях не остаются стабильными, а их возникновение, время существования и исчезновение носят вероятностный характер, действуют законы, не похожие на законы вязкого трения. Отсюда сложность описания турбулентных потоков моделями, в теоретической базе которых лежат законы трения вязких жидкостей.

Список использованной литературы

1. Цытович Н. А. Механика грунтов. М.: Высшая школа, 1979. 272 с.
2. Кочин Н. Е. Векторное исчисление и начало тензорного исчисления. М.: Наука, 1965. 426 с.
3. Акивис М. А. Тензорное исчисление. М.: Наука, 1972. 352 с.

А.Г.Савицкий

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСТРЕМУМОВ ДЛЯ ОСОБОГО ВИДА КРИТЕРИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

Задача по определению экстремальных значений функций имеет большое прикладное значение. В настоящей работе мы рассмотрим критериальные функции, которые чаще всего встречаются.

Наиболее распространена задача о распределении ограниченно-го ресурса между отдельными потребителями таким образом, чтобы суммарный результат их производства был максимальный, затраты минимальными или подобное этому.

Критериальная функция в таких задачах записывается в виде

$$Y = F_1(x_1) + F_2(x_2) + F_3(x_3) + F_4(x_4) + \dots + F_N(x_N), \quad (1)$$

$$x_1 + x_2 + \dots + x_N = A, \quad (2)$$

где Y - критериальная функция суммарного эффекта от отдельных производителей, использующих ограниченный ресурс;

$F_i(x_i)$ - эффект от i -го производителя, использующего ограниченный ресурс x_i ;

N - число отдельных производителей;

A - размер используемого ресурса.

Физический смысл формулы (1) становится ясным, если допустить, что ресурсом к примеру является вода, а результат производства каждого водопотребителя зависит от объема её использования.

Заметим, что к форме записи (1) логарифмированием можно привести критериальную функцию, где вместо суммы результатов отдельных производителей используется их произведение. Такая функция описывает временной производственный цикл, где последующая фаза производства использует результаты предыдущей и все фазы одновременно используют ограниченный расходуемый ресурс. Эти задачи носят определение задач поиска оптимального распределения во времени ограниченного ресурса.

Для нахождения экстремума в критериальных функциях часто применяют различные итерационные методы, где методами последова-

тельных приближений ищутся экстремальные точки. Такие методы часто подвергаются критике, связанной с доказательством того, что все экстремальные точки найдены и ни одной не пропущено. Многие из этих методов тем не менее хорошо зарекомендовали себя в практических расчетах. Но у них есть один общий недостаток: их проведение требует иногда значительных затрат времени.

В данной работе предлагается еще один метод нахождения экстремума, который, как показала практика, позволяет находить и рассчитывать экстремальные точки почти мгновенно.

По условию существования экстремума обязано выполняться равенство нулю всех частных производных в критериальной функции. Причем все переменные X_1, X_2 и т.д. рассматриваются как независимые переменные, кроме последней X_n , которая является зависимой и рассчитывается через выражение, определяющее ограниченность ресурса (2)

$$X_n = A - x_1 - x_2 - x_3 - \dots - x_{n-1}. \quad (3)$$

То есть для каждого i можно записать

$$\left. \frac{\partial y}{\partial x} \right|_{x=x_i} = 0. \quad (4)$$

Из серии формул (3) и (4) следует серия равенств для каждого i

$$\left. \frac{F_i(x)}{\partial x} \right|_{x=x_1} = \left. \frac{F_{nx}}{\partial x} \right|_{x=x_n}. \quad (5)$$

Величина, записанная в правой части серии равенств (5), — конкретная характеристика для данного суммарного ресурса A . Это означает, что серию равенств (5) можно переписать в виде

$$\left. \frac{F_1(x)}{\partial x} \right|_{x=x_1} = \left. \frac{F_2(x)}{\partial x} \right|_{x=x_2} = \left. \frac{F_3(x)}{\partial x} \right|_{x=x_3} = \dots = \left. \frac{F_n(x)}{\partial x} \right|_{x=x_n}. \quad (6)$$

Равенства (6) означают, что экстремум для критериальной функции вида (I) находится в точках, где производные от составляющих суммарной критериальной функции равны между собой. Формула (6) служит основой для расчетного алгоритма.

Алгоритм строится следующим образом:

- 1) каждая отдельная производящая функция $F_i(x)$ на всем участке определения разбивается на M интервалов, причем таким образом, чтобы внутри интервала знак второй производной, не менялся. Этим гарантируется условие учета всех экстремумов;
- 2) путём сортировки по величине производной строится серия новых функций, при этом аргументом является уже величина производной, а функцией – величина соответствующего ресурса. На этом этапе алгоритмизации возможно появление неоднозначности полученных функций, поскольку разным аргументам в функции $F_i(x)$ могут соответствовать равные производные;
- 3) полученные в пункте 2 функции складываются и результатом служит некоторая суммарная функция, причем неоднозначность сохраняется;
- 4) расчет экстремума проводится по следующей схеме:
 - а) по заданному общему ресурсу A с функции или последовательно с каждой из её ветвей снимается значение производных;
 - б) по полученной величине производной с каждой из функций, полученной в пункте 2, снимается значение аргумента X .

Серия данных аргументов соответствует одному из экстремальных значений суммарной критериальной функции. Поиск глобального экстремума проводится сравнением значений суммарной производящей функции (I) для всех серий распределения ограниченного ресурса X и значений на границах области определения суммарной производящей функции.

Результаты работы по пунктам 1, 2, 3 не меняются для данного задания критериальной функции. Это означает, что их можно получить один раз, а затем только использовать для поиска экстремальных значений.

Практика использования программы, написанной автором для нахождения экстремальных значений функций вида (I), показывает, что расчет занимает очень короткое время. Определенные сложности могут возникнуть при интер- и экстраполяции исследуемых функций, все они разрешимы и носят эвристический характер.

УДК 627.15:532.5

О.Н Тихонова

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ДЕФОРМАЦИИ РУСЛ РЕК
ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ УГМС

С 50-х годов р.Амударья испытывает постоянно нарастающее антропогенное воздействие, связанное с интенсивным отбором воды на орошение. Строительство водохранилищ способствует интенсивному заилению верхнего бьефа и общему размыву нижнего. При водоотборах в каналы мутность отбираемой воды до 20-30% ниже мутности потока реки, что приводит к русловым переформированиям в реке как ниже створа водоотбора, так и выше него.

Рассмотрим однорукавное русло реки, проходящее в однородном легкоразмываемом грунте. Примером подобного русла может служить р.Амударья ниже Тахиаташского гидроузла (г/п Кызылджар).

В настоящее время используются две количественные оценки деформаций русла, получаемые на основе обработки данных измерений, выполняемых УГМС:

I - изменение отметки дна по максимальной глубине потока

$$D_{\max} = UB - H_{\max}, \quad (1)$$

где $H_{\max}$ - максимальная глубина потока;

$D_{\max}$ - отметка дна по максимальной глубине потока;

2 - изменение отметки дна по средней глубине потока

$$D_{\text{ср}} = UB - H_{\text{ср}}, \quad (2)$$

где $H_{\text{ср}}$ - средняя глубина потока;

$D_{\text{ср}}$ - отметка дна по средней глубине потока.

Известно, что в параболическом русле положение отметки дна по средней глубине потока изменяется не только при деформации русла, но и при его наполнении. Оценим количественно эту величину, назвав её $h_{\text{нал}}$ - изменение отметки дна по средней глубине потока за счет наполнения русла.

Рассмотрим русло параболической формы, описываемое зависимостью

$$B = H_{\max}^2, \quad (3)$$

где B - ширина русла по урезу воды;
 q - показатель степени параболы.

Рассмотрим случай, когда изменение уровня в русле происходит без плановых и глубинных деформаций (рис. I). Максимальная глубина потока характеризует относительную отметку уровня воды для условия, когда "0" поста расположен в самой нижней точке сечения.

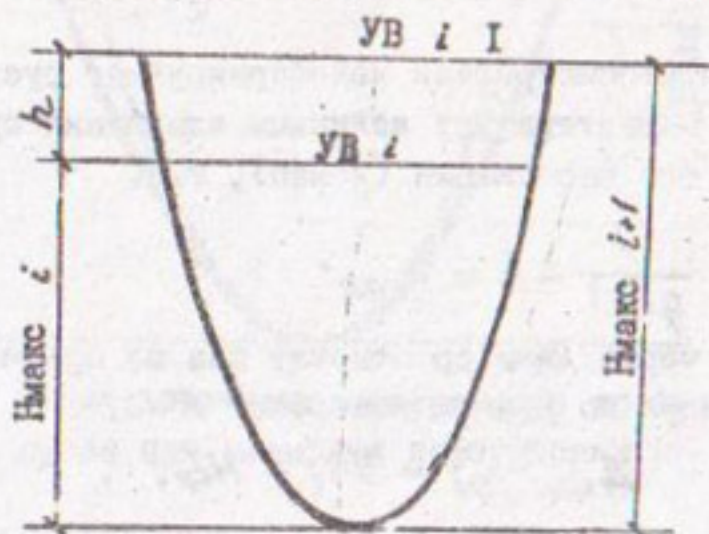


Рис. I. Схема изменения поперечного сечения русла без плановых деформаций.

Обозначим через $D_{отн.ср}$ эту отметку дна по средней глубине потока. Тогда в первом измерении при уровне воды $УВ i$ отметка дна равна

$$D_{отн.ср i} = H_{макс i} - H_{ср i} = H_{макс i} - \frac{q i}{q i + 1} H_{макс i} \quad (4)$$

Во втором измерении уровень воды равен $УВ i + 1$ и отметка дна составит

$$D_{отн.ср i+1} = H_{макс i+1} - H_{ср i+1} = H_{макс i+1} - \frac{q(i+1)}{q(i+1) + 1} H_{макс i+1} \quad (5)$$

Из рис. I следует

$$h = H_{макс i+1} - H_{макс i} \quad (6)$$

Тогда (5) с учетом (6) принимает вид

$$A_{отн.ср\ i+1} = H_{макс\ i} + h - \frac{q_i}{q_{i+1}} (H_{макс\ i} + h). \quad (7)$$

Решая совместно (5) и (7), получаем

$$A_{отн.ср\ i+1} - A_{отн.ср\ i} = \frac{1}{q_{i+1}} h. \quad (8)$$

Так как мы рассматривали недеформируемое русло (рис. 1), то формула (8) характеризует величины изменения средней глубины потока за счет его наполнения ($h_{нап}$), т.е.

$$\frac{1}{q_{i+1}} h = h_{нап}. \quad (9)$$

Обозначим через $A_{изм.ср}$ отметку дна по средней глубине потока, рассчитанную по данным измерений УГМС, т.е.

$$A_{изм.ср\ i} = UB_i - H_{ср\ i}, \quad (10)$$

$$A_{изм.ср\ i+1} = UB_{i+1} - H_{ср\ i+1}, \quad (11)$$

или

$$A_{изм.ср\ i+1} - A_{изм.ср\ i} = h_{нап} + h_{г.деф}. \quad (12)$$

Тогда величину, на которую изменяется отметка дна за счет глубинных деформаций ($h_{г.д}$), можно определить по формуле

$$h_{г.д} = (UB_{i+1} - H_{ср\ i+1}) - (UB_i - H_{ср\ i}) - \frac{1}{q_{i+1}} (H_{макс\ i+1} - H_{макс\ i}). \quad (13)$$

Рассмотрим следующий случай, когда наполнение русла происходит одновременно с изменением его формы, но без глубинных деформаций (рис. 2), т.е. максимальная глубина потока характеризует уровень воды при условии, что "0" поста расположен в самой нижней точке сечения. Для такого случая справедливы зависимости (4 - 7, 10, 11), однако величина ($A_{отн.ср\ i+1} - A_{отн.ср\ i}$) характеризует суммарное изменение отметок дна по средней глубине за счет наполнения русла ($h_{нап}$) и плановых деформаций ($h_{пл.деф}$).

$$A_{отн.ср\ i+1} - A_{отн.ср\ i} = h_{нап} + h_{пл.деф} \quad (14)$$

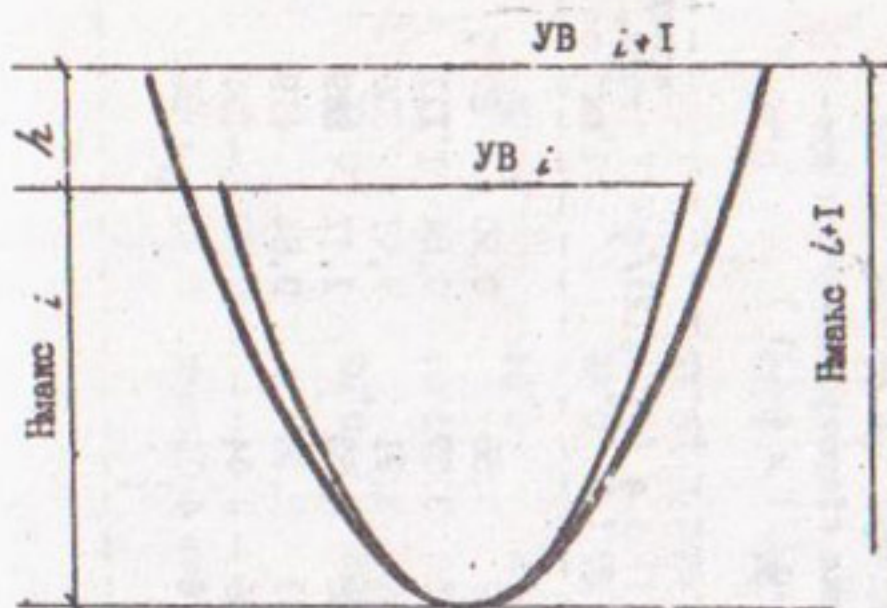


Рис. 2. Схема изменения поперечного профиля русла при плановых деформациях.

или с учетом (4) и (5)

$$h_{\text{нап}} + h_{\text{пл.деф}} = \frac{q(i+1)}{q(i+1)+1} H_{\text{макс } i+1} - \frac{q_i}{q_{i+1}} H_{\text{макс } i}. \quad (15)$$

Решая совместно (9) и (15), получим

$$h_{\text{пл.деф}} = \frac{q(i+1)}{q(i+1)+1} H_{\text{макс } i+1} - \frac{q_i}{q_{i+1}} H_{\text{макс } i} - \frac{q_i}{q_{i+1}} \cdot h, \quad (16)$$

Величина (Дизм.ср $i+1$ - Дизм.ср i) при плановых деформациях русла характеризует суммарное изменение отметок дна по средней глубине за счет его наполнения ($h_{\text{нап}}$), плановых ($h_{\text{пл.деф}}$) и глубинных деформаций ($h_{\text{г.деф}}$), т.е.

$$\text{Дизм.ср } i+1 - \text{Дизм.ср } i = h_{\text{нап}} + h_{\text{пл.деф}} + h_{\text{г.деф}}. \quad (17)$$

Решая совместно (10), (11), (15) и (17), получим

$$(h_{\text{г.деф}}) = (УВ_{i+1} - H_{\text{ср } i+1}) - (УВ_i - H_{\text{ср } i}) - \frac{q(i+1)}{q(i+1)+1} H_{\text{макс } i+1} + \frac{q_i}{q_{i+1}} H_{\text{макс } i}. \quad (18)$$

Величина показателя степени параболы, по данным измерений УГМС, может быть определена следующим образом:

Т а б л и ц а I

Морфометрические параметры русла р. Амударьи (г/п Кызылджар) при сформировавшейся параболической его форме (критерий выполнения условия сформировавшегося русла - равенство показателей степени параболы $q(1)$ и $q(2)$)

Дата	Уровень воды, м	Н _{макс.}	Н _{ср.}	Площадь W, м ²	Ширина В, м	$q(1)$		$q(2)$		$q(2)/q(1)$		Расход воды, м ³ /с
						$q(1)$		$q(2)$		$q(2)/q(1)$		
15.02.90	61,17	2,68	1,86	149	70	4,31		3,86		0,90		67,5
10.08.90	61,33	2,80	2,19	175	80	4,26		3,57		0,84		111
20.05.91	62,57	3,20	2,25	265	104	3,99		3,91		0,91		200
28.08.92	62,72	3,30	2,70	273	101	3,86		4,53		1,17		269
22.03.94	63,48	5,20	3,66	368	106	2,83		2,38		0,84		419
03.05.94	62,33	3,70	2,78	259	93	3,46		3,04		0,88		194
15.06.94	61,56	2,60	2,08	198	95	4,76		4,04		0,85		89

Результаты расчета составляющих изменения отметок дна по средней глубине
потока для русла р. Амударьи (г/п Кызылджар)

Дата	Уровень воды, м	Н _{ср} , м	Дизм. ср	Дизм. ср. +1	q ср	h _{нап}	h _{пл.д}	h г. деф
15.02.90	61,17	1,86	59,31	-0,17	0,12	0,02	0,03	-0,22
10.08.90	61,33	2,19	59,14	1,18	0,40	0,08	-0,01	1,11
20.05.91	62,57	2,25	60,32	-0,30	0,10	0,02	-0,04	-0,28
28.08.92	62,72	2,70	60,02	-0,20	1,90	0,36	-0,45	-1,01
22.03.94	63,48	3,66	59,82	-0,27	-1,50	-0,42	0,15	0,30
03.05.94	62,33	2,78	59,55	-0,13	-1,10	-0,26	0,13	0,26
15.06.94	61,56							

вариант 1

$$q(1) = \frac{1nB}{1nH_{\max}}, \quad (19)$$

вариант 2

$$q(2) = \frac{W}{B \cdot H_{\max} - W}, \quad (20)$$

где W – площадь поперечного сечения потока.

Предполагается, что в случае, когда русло имеет параболическую форму, показатели степени параболы, рассчитанные по вариантам 1 и 2, имеют одинаковые или близкие значения. Считаем, что при значительной разнице между показателями степени параболы, рассчитанной по двум вариантам, в русле не закончен процесс переформирования и оно не успело принять параболическую форму, соответствующую расходу воды, проходящему в реке. Такая ситуация должна возникать в период резкого изменения расхода воды в реке, например, при переходе от паводкового периода к меженному и наоборот. Известно, что на р.Амударье в это время происходит смена форм движения донных наносов, что влияет на форму русла.

По данным измерений на р.Амударье (г/п Кызылджар) в 1989–1994 гг. были рассчитаны показатели степени параболы по зависимостям (19) и (20). Морфометрические данные для измерений, когда поток практически сформировал параболическое сечение русла (т.е. отношение $q(2)/q(1)$ близко к единице), приведены в табл. I. Результаты расчета изменения отметок дна по средней глубине за счет наполнения русла ($h_{\text{нап}}$), плановых ($h_{\text{пл.деф}}$) и глубинных деформаций ($h_{\text{г.деф}}$) для отобранных при первичной обработке данных измерений УГМС даны в табл. 2.

Зависимости (9), (16) и (17) рекомендуется использовать для расчета долевого участия в изменении отметок дна по средней глубине потока ($h_{\text{нап}}$), ($h_{\text{пл.деф}}$) и ($h_{\text{г.деф}}$) для одноруканных русел рек, проходящих в однородном легкоразмываемом грунте.

К.Ш.Латипов, А.М.Арифханов

РАСЧЕТ ДЛИНЫ УСТАНОВЛЕНИЯ ПОТОКА

В решении ряда практических задач (при поступлении потока в трубопровод, канал, определении участка размыва в нижних бьефах сооружений, расчете прорези и т.д.) необходимо определить длину установления потока, т.е. длину "начального участка". На нём эпюры распределения скоростей по глубине потока имеют неравномерный характер, происходит интенсивное изменение параметров потока. Экспериментальными исследованиями в напорных системах установлено, что потери напора на этих участках больше, чем на участках такой же длины трубопровода или русла.

В напорных системах получены зависимости, характеризующие длину "начального участка". Однако в случае безнапорных систем, в частности в открытых руслах, данная задача требует решения.

В настоящей работе решение указанной задачи рассматривается исходя из системы дифференциальных уравнений движения (I) с учетом турбулентности потока.

Область движения представим в виде полосы. Тогда система дифференциальных уравнений после аналогичных [1, 2] упрощений принимает вид

$$\left. \begin{aligned} V \frac{\partial u}{\partial x} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{L}{\rho} u \\ \frac{\partial p}{\partial y} &= 0; \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \end{aligned} \right\}, \quad (I)$$

где V - средняя скорость потока;

u - местная скорость;

x, y - оси координат;

L - параметр, учитывающий массообмен между слоями потока;

ρ - плотность потока;

ν - кинематический коэффициент вязкости.

В открытых руслах

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho g i, \quad (2)$$

где i - уклон свободной поверхности.

Предположим, что скорость по начальному сечению распределена равномерно, т.е.

$$\text{при } X = 0, \quad U = V.$$

Решение системы дифференциальных уравнений (I) рассмотрим при следующих граничных условиях:

$$y = h, \quad x > 0, \quad \frac{\partial u}{\partial y} = 0; \quad y = 0, \quad x > 0, \quad u = 0, \quad v = 0.$$

Учитывая, что $\int_0^h u dy = hV$, также из третьего уравнения (I) имеем

$$V = - \int_0^y \frac{\partial u}{\partial x} dy = - \frac{\partial}{\partial x} \int_0^y u dy. \quad (3)$$

Тогда, учитывая (2), (3), (I), запишем в виде:

$$\begin{aligned} V \frac{\partial}{\partial x} \int_0^h u dy = & - g i \int_0^h dy + \nu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_h - \\ & - \nu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_0 - \frac{L}{\rho} \int_0^h u dy \end{aligned} \quad (4)$$

при вышеуказанных граничных условиях

$$g i h = - \nu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_0 - \frac{L}{\rho} \int_0^h u dy. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (4), после некоторых преобразований получим дифференциальное уравнение для основной скорости

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\nu}{V} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{L}{\rho V} u + \frac{\nu}{h V} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_0 + \frac{L V}{\rho}. \quad (6)$$

Решение уравнения (6) рассмотрим методом преобразования Лапласа и в результате уравнение (6) принимает вид

$$-V + u^* = \frac{\nu}{V} \frac{1}{p} \frac{\partial^2 u^*}{\partial y^2} - \frac{L}{\rho V} \frac{u^*}{p} + \frac{\nu}{h V} \frac{1}{p} \left(\frac{\partial u^*}{\partial y} \right)_0 - \frac{L}{\rho} \frac{1}{p}. \quad (7)$$

После несложных преобразований

$$\frac{\partial^2 u^*}{\partial y^2} - \left(\frac{V}{\nu} p + \frac{L}{\mu} \right) u^* = - \frac{V^2 p}{\nu} - \frac{1}{h} \left(\frac{\partial u^*}{\partial y} \right)_0 - \frac{L V}{\mu}, \quad (8)$$

граничные условия

$$\text{при } y = 0, \quad u^* = 0$$

$$\text{при } y = h, \quad \frac{\partial u^*}{\partial y} = 0.$$

(9)

Общее решение уравнения (8) ищем в виде

$$u^* = A \operatorname{ch} \lambda y + B \operatorname{sh} \lambda y + \frac{1}{\lambda^2 h} \left(\frac{\partial u^*}{\partial y} \right)_0 + \frac{1}{\lambda^2 \mu} V, \quad (10)$$

где $\lambda = \sqrt{\frac{V}{\gamma} \rho + \frac{L}{\mu}}.$

После применения граничных условий (9) из (10) получим

$$A + \frac{1}{\lambda^2 h} \left(\frac{\partial u^*}{\partial y} \right)_0 + \frac{L}{\lambda^2 \mu} V = 0; \quad A \operatorname{sh} \lambda h + B \operatorname{ch} \lambda h = 0.$$

С другой стороны из (10) можно определить

$$\left(\frac{\partial u^*}{\partial y} \right)_0 = \frac{B}{\lambda}.$$

Тогда A и B равняются

$$A = \frac{\lambda V \operatorname{ch} \lambda h}{\lambda h \operatorname{ch} \lambda h - \operatorname{sh} \lambda h}; \quad B = \frac{V \lambda h \operatorname{sh} \lambda h}{\lambda h \operatorname{ch} \lambda h - \operatorname{sh} \lambda h}.$$

Подставляя выражение для A и B в уравнение при $p \rightarrow 0$
или $X \rightarrow \infty$

$$u = V \left[1 - \frac{\sqrt{\frac{L}{\mu}} \operatorname{ch} \sqrt{\frac{L}{\mu}} (y-h) - \operatorname{sh} \sqrt{\frac{L}{\mu}} h}{\sqrt{\frac{L}{\mu}} h \operatorname{ch} \sqrt{\frac{L}{\mu}} h - \operatorname{sh} \sqrt{\frac{L}{\mu}} h} \right].$$

Для перехода к оригиналу находим вычеты функции

$$C_0 = V \frac{\operatorname{ch} \sqrt{\frac{L}{\mu}} \cdot y - \operatorname{ch} \sqrt{\frac{L}{\mu}} (h-y)}{\frac{L}{\mu} \cdot h^2 \left(\operatorname{ch} \sqrt{\frac{L}{\mu}} h - \frac{\mu}{L h^2} \operatorname{sh} \sqrt{\frac{L}{\mu}} h \right)},$$

$$C_m = \lim_{p \rightarrow p_m} \frac{\operatorname{ch} \lambda h - \operatorname{ch} \lambda (h-y)}{\frac{V}{2 \sqrt{\lambda}} \left[\operatorname{sh} \lambda h + \frac{1}{\lambda^2 h^2} \operatorname{sh} \lambda h \cdot \operatorname{ch} \lambda h \right]} =$$

$$= \frac{ch j_m - ch j_m (h-y) \frac{1}{n}}{2 \sqrt{j_m} \left[\left(1 + \frac{1}{j_m^2}\right) sh j_m - \frac{1}{j_m} ch j_m \right]},$$

где j_m - корень уравнения, $tg \lambda h = \lambda h$.

Для определения длины начального участка напишем выражение для скорости

$$U = C_0 + \sum_{m=1}^{\infty} C_m \exp \left\{ - \left(\frac{\sqrt{j_m^2}}{V h^2} + \frac{L}{\rho V} \right) x \right\}. \quad (II)$$

В уравнении (II), сохраняя только первое слагаемое под знаком суммы, получим следующее выражение скорости

$$U = C_0 + C_1 \exp \left\{ - \frac{\sqrt{j_1^2}}{V h^2} + \frac{L}{\rho V} \right\} x, \quad (I2)$$

где j_1 - наименьший корень уравнений, связанный с корнями функции Бесселя [3], равный $j_1' = 4,93$.

Если за длину начального участка принять то расстояние от входа, при котором второе слагаемое в фигурной скобке (I2) будет 0,01, то из (I2) в разложении функции, отбрасывая величины малости второго порядка, получим

$$- \left(\frac{j_1'^2 \cdot V}{V \cdot h^2} + \frac{L}{\rho V} \right) \ell = \ln \frac{0,01}{C_1}.$$

Отсюда длина начального участка

$$\ell = - \frac{\ln \frac{0,01}{C_1}}{\frac{j_1'^2 \cdot V}{V h^2} + \frac{L}{\rho V}}. \quad (I3)$$

Подставляя значения величин C_1 , L из [3] и вводя число Рейнольдса (I3), длину "начального участка" запишем в виде

$$\ell = \frac{h \cdot Re}{(j_1'^2 + 0,05 \sqrt{Re})} \ln (0,01 K_2 h Re), \quad (I4)$$

где

$$K_2 = \frac{ch j_1 - 1}{\left[\left(1 + \frac{1}{j_1^2}\right) sh j_1 - \frac{1}{j_1} ch j_1 \right]}.$$

Таким образом, длина "начального участка" открытого русла турбулентного потока пропорциональна числу Рейнольдса и значению глубины потока.

Как видно из анализа формулы, турбулентность потока может способствовать уменьшению длины "начального участка". Отметим, что аналогичные результаты были получены в напорных системах опытным путём.

Список использованной литературы

1. С л е з к и н Н. А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. М., 1995. 520 с.
2. Л а т и п о в К. Ш., А р и ф ж а н о в А. М. Вопросы движения взвешенного потока в открытых руслах. Ташкент: Мехнат, 1994. 110 с.
3. Я н к е Е., Э м д е Ф., Л е ш Ф. Специальные функции. М., 1968. 344 с.

УДК 631.445.52:631.55

В.Г.Насонов

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ И УРОЖАЙ

Засоление почв – одна из важнейших причин снижения плодородия орошаемых земель во многих странах мира. Борьба с ним является основной составляющей всего комплекса мелиоративных мероприятий. С другой стороны, интенсивные рассолительные мероприятия приводят к возникновению серьезных экологических проблем, вызванных поступлением выносимых солей в водотоки и водоёмы. Основой целесообразности проведения мероприятий по регулированию солевого режима почв являются связи урожая сельскохозяйственных культур с уровнем засоления почв, на которые ориентируются проектные прогнозы и расчеты, обосновывающие тот или иной комплекс инженерно-технических и проектных мероприятий; оценивается их эффективность.

Однако следует иметь в виду, что показатели засоления почв характеризуются сильной пространственной изменчивостью даже при рассмотрении небольших участков однородных почв, для которых коэффициент вариации может составлять 60–90%. Даже в пределах

маых участков морфологически однородных почв можно получить различные категории почвенного засоления.

По данным В.С.Муратовой [1], на разных стенках одного и того же почвенного разреза могут быть различные степени засоления.

Случайная изменчивость засоления почв выявлена давно [1-6]. Существуют различные методические рекомендации и указания, учитывающие необходимость статистического обоснования оценок засоления почв [3, 6, 7].

Необходимость большого увеличения числа опробований для получения статистически достоверных результатов позволит некоторым исследователям даже сделать выводы о невозможности получения достаточно достоверных количественных характеристик солевого режима почв в реальных условиях [1].

Однако, до настоящего времени как научно-исследовательские разработки, так и оценочные опробования мелиоративных служб Минводхоза по определению засоления почв проводятся без надлежащего статистического обоснования, что делает выводы по данным такого опробования недостаточно достоверными, не говоря уже об обосновании мероприятий по этим данным.

Вместе с тем, если методические указания, обеспечивающие получение статистически достоверных результатов солевого опробования, имеются и просто по тем или иным причинам не выполняются, то расчет прибавки или ущерба урожая производится без учета пространственного варьирования засоления (в методики такого расчета не существуют). Достоверность такого расчета по своему смыслу часто близка к вероятности определения выпадения "орла" или "решки" монеты при подбрасывании.

Очевидно, что в связи с пространственной изменчивостью солевого содержания в почвенном слое даже в пределах морфологически однородного почвенного контура, расчет ожидаемого урожая или ущерба следует проводить с учетом статистических характеристик содержания солей в почве.

Зависимость урожая разных сельскохозяйственных культур от засоления может иметь различные формы (рис. 1, 2) [8-10]. Для линейной формы зависимости (рис. 1) можно написать

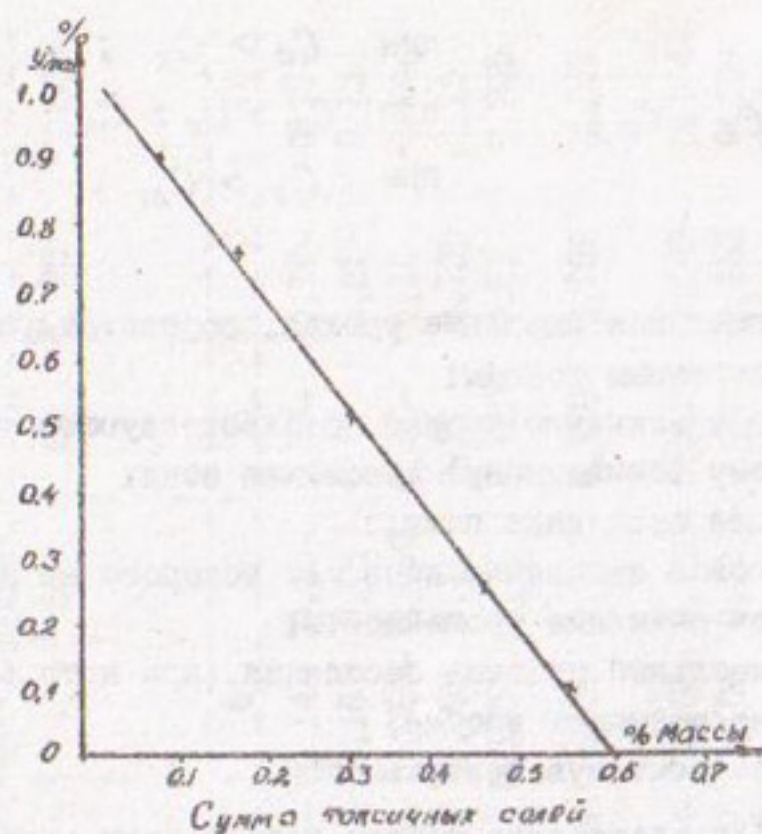


Рис. 1. Связь урожая Джугары с засолением почв (по материалам Н.Г.Минашиной, Г.Сапаргельдыева, 1984 г.).

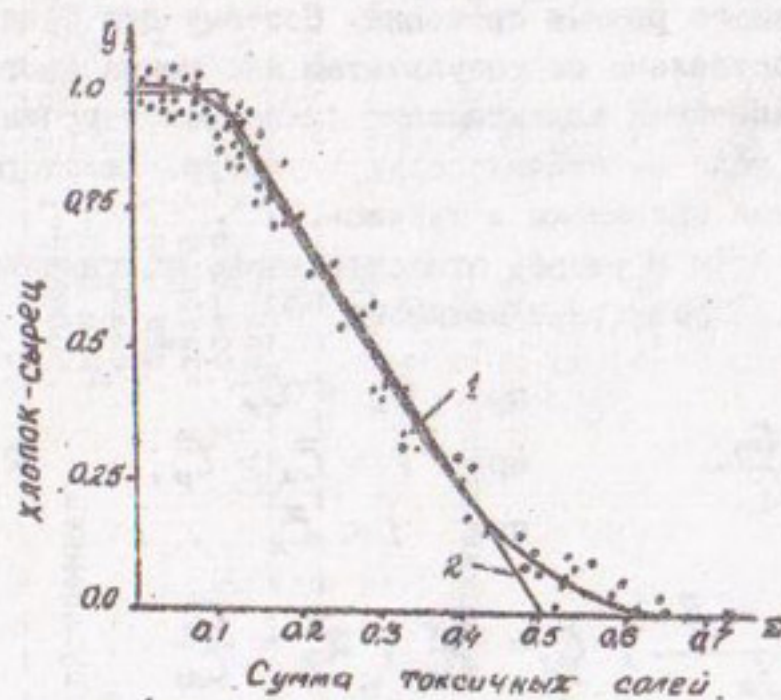


Рис. 2. Зависимость урожайности от суммы токсичных солей:

1 - аппроксимация по (2); 2 - по (2а).

$$y = \begin{cases} y_m & \text{при } C_0 > C_x ; \\ y_m - \alpha_c (C_x - C_0) & \text{при } C_m > C_x > C_0 ; \\ 0 & \text{при } C_x > C_m ; \end{cases} \quad (I)$$

где

y_m - максимальное значение урожая, соответствующее незасоленным почвам;

y - текущее значение урожая, соответствующее наблюдаемому (ожидаемому) засолению почв;

C_x - текущее засоление почв;

C_0 - пороговое засоление почв, до которого не наблюдается снижение урожайности;

C_m - максимальный уровень засоления, при котором урожай не получают вообще;

α_c - коэффициент чувствительности.

В работе [10] представлена сводка зависимости урожая различных сельскохозяйственных культур от засоления почв по электропроводности. Однако зависимость урожая от засоления является функцией не только вида культуры, но скорее сорта, системы агротехники, применяемого режима орошения. Поэтому для Среднеазиатского региона составлена по результатам обобщения многолетних исследований линейная аппроксимация зависимости урожая от засоления по СИ⁻ для ряда важнейших сельхозкультур. Некоторые данные тако. о обобщения приведены в таблице.

Для удобства перейдем к ущербу относительного максимального урожая, преобразуя в безразмерные величины

$$\Delta \bar{y} = \begin{cases} 0 & \text{при } \bar{C}_x < \bar{C}_0 ; \\ \frac{C_x - C_0}{1 - C_0} & \text{при } 1 > \bar{C}_x > \bar{C}_0 ; \\ 1 & \text{при } 1 < \bar{C}_x \end{cases} \quad (2)$$

где

$$\Delta \bar{y} = \frac{\bar{y}_m - \bar{y}}{\bar{y}_m} ; \quad \bar{C}_x = \frac{C_x}{C_m} ; \quad \bar{C}_0 = \frac{C_0}{C_m} .$$

В ряде случаев предлагается экспоненциальная аппроксимация зависимости урожая от засоления [11], хотя такая зависимость количественно определена для очень ограниченного состава культур. Поскольку экспоненциальная аппроксимация имеет определенные

Зависимости снижения урожая различных сельскохозяйственных культур от засорения по СІ- (% от массы)

Сельскохозяйственная культура	Нормальное развитие	Относительное снижение урожая, %									
		10	20	30	40	50	60	70	80		
I											
Поползнецник	0,058-	0,08-	0,1-	0,12-	0,14-	0,15-	0,17-	0,19-	0,21-		
	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,19	0,21	0,23		
Сахарная и кормовая свекла	0,035-	0,048-	0,061-	0,074-	0,087-	0,099-	0,11-	0,12	0,14-		
	0,045	0,058	0,071	0,084	0,096	0,11	0,12	0,135	0,15		
Суланская трава	0,03	0,06	0,08	0,11	0,135	0,16	0,185	0,21	0,235		
II											
Ячмень	0,038-	0,054	0,072	0,089	0,106	0,122	0,138	0,152	0,169		
	0,04										
Пшеница	0,03-	0,051-	0,068-	0,084-	0,100-	0,116-	0,132-	0,149-	0,164-		
	0,04	0,056	0,073	0,089	0,106	0,121	0,137	0,153	0,169		
Хлопчатник	0,03-	0,038-	0,048-	0,053-	0,06-	0,068-	0,078-	0,086-	0,093-		
	0,04	0,048	0,055	0,063	0,07	0,078	0,085	0,093	0,10		
Пшугара	0,038-	0,055-	0,07-	0,09-	0,1-	0,12-	0,136-	0,15-	0,17-		
	0,048	0,065	0,08	0,1	0,11	0,13	0,145	0,16	0,18		
Сорго	0,05	0,068	0,084	0,1	0,111	0,132	0,148	0,163	0,178		
III											
Соя	0,054	0,06	0,066	0,072	0,077	0,083	0,09	0,095	0,1		

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рис	0,025-	0,035-	0,035-	0,042-	0,051-	0,059-	0,067-	0,075-	0,083-	0,092-
Дюгерма	0,035	0,04	0,04	0,046	0,055	0,063	0,071	0,079	0,087	0,096
Просо	0,01-	0,032-	0,032-	0,049-	0,066-	0,08-	0,10	0,11-	0,12-	0,14-
Горчица	0,02	0,038	0,038	0,054	0,070	0,086		0,12	0,13	0,15
Маш	0,015-	0,031-	0,031-	0,048-	0,065	0,082-	0,098-	0,114-	0,131-	0,147-
Томат	0,04	0,056	0,056	0,073	0,089	0,106	0,122	0,138	0,153	0,169
Горох	0,06-	0,073-	0,073-	0,086-	0,099-	0,112-	0,123-	0,135-	0,148-	0,16-
Арахис	0,07	0,086	0,086	0,098	0,112	0,123	0,135	0,148	0,16	0,17
Дюгерма	0,008-	0,018-	0,018-	0,03-	0,04-	0,049-	0,06-	0,069-	0,079-	0,089-
Томат	0,015	0,026	0,026	0,036	0,046	0,056	0,066	0,075	0,085	0,095
Горох	0,007-	0,07-	0,07-	0,03-	0,04-	0,06-	0,07-	0,08-	0,09-	0,1-
Арахис	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,11
Дюгерма	0,023	0,03	0,03	0,041	0,044	0,049	0,053	0,058	0,061	0,066
Дюгерма	0,007-	0,02-	0,02-	0,03-	0,04-	0,05-	0,06-	0,07-	0,08-	0,09-
Дюгерма	0,015	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
Дюгерма	0,007-	0,015-	0,015-	0,023-	0,03-	0,037-	0,045-	0,053-	0,061-	0,068-
Дюгерма	0,01	0,018	0,018	0,026	0,033	0,04	0,48	0,055	0,063	0,071
Кукуруза	0,014	0,03	0,03	0,047	0,063	0,08	0,095	0,11	0,126	0,144
Капуста	0,007-	0,02-	0,02-	0,03-	0,04-	0,06-	0,07-	0,08-	0,1-	0,1-
Арбуз	0,002	0,03	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11
Арбуз	0,007-	0,017-	0,017-	0,029-	0,04-	0,051-	0,062-	0,073-	0,085-	0,097-
Арбуз	0,0008	0,019	0,019	0,031	0,042	0,053	0,064	0,076	0,087	0,098

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
xx Картофель	0,007-	0,017-	0,029-	0,04-	0,051-	0,062-	0,073-	0,085-	0,097-	
xy Огурец	0,008	0,019	0,031	0,042	0,053	0,064	0,076	0,087	0,098	
xxx Морковь	0,005-	0,016-	0,025-	0,035-	0,044-	0,054-	0,062-	0,072-	0,081-	
	0,007	0,017;	0,028	0,036	0,046	0,056	0,063	0,073	0,082	
	0,004	0,013	0,022	0,031	0,04	0,048	0,057	0,066	0,074	

П р и м е ч а н и е .

x - данные по зависимости относительной урожайности от засоления по CI - определены пересчетом;

xx - снижение урожайности определено пересчетом в [10] в связи с отсутствием необходимого количества данных для получения статистически достоверных результатов по Средней Азии;

xxx - в связи с отсутствием опытных данных по Средней Азии для этой культуры солеустойчивость охарактеризована в [9,10];

xxxx - снижение урожайности от засоления культуры принято аналогичным для схожих культур.

недостатки, целесообразно пользоваться модифицированной зависимостью [12]

$$\bar{y} = \exp \left[-\alpha (c_x - \bar{b})^2 \right], \quad (2a)$$

где

α и $\bar{b}$ - эмпирические коэффициенты, определенные для хлопчатника, $\alpha = 8,68$, $\bar{b} = 0,05$.

Введя безразмерные переменные, получим

$$\Delta \bar{y} = \begin{cases} 1 - \exp \left[-\bar{\alpha} \left(\frac{c_x - c_0}{c_m - c_0} - \bar{b} \right)^2 \right] & c_x > c_0 \\ \bar{a} & c_x < c_0, \end{cases}$$

где

$\bar{\alpha}$ и $\bar{b}$ - эмпирические коэффициенты, учитывающие безразмерные преобразования в 2a.

Используя зависимость (2) и зная статистические характеристики, закон распределения содержания солей в почве, можно найти ущерб урожая в данном контуре

$$\Delta \bar{y} = \int_0^{\infty} \bar{y}(c) f(c) dc, \quad (3)$$

где

f_c - плотность распределения солесодержания в почве.

Для относительно простых законов распределения солесодержания интеграл в (3) может быть представлен в квадратурах. Для многих случаев засоления различными ионами, как и суммой солей, подчиняется логарифмически нормальному закону распределения, что отвечает физическому смыслу, т.е. изменение случайной величины пропорционально интенсивности вызывающей причины. С другой стороны, могут встречаться нормальные и равномерные законы распределения.

Для логнормального закона распределения представим (3) в квадратурах. При математическом ожидании $\bar{c}_m$ и среднеквадратическом отклонении логарифмов солесодержания $\sigma \ln$, после преобразования (3) получим

$$\Delta y = \Phi\left(\frac{C_m}{\sigma \ln}\right) - \frac{C_0}{1-C_0} \left[1 - \Phi\left(\frac{C_m}{\sigma \ln}\right) - \right. \\ \left. - \Phi\left(\frac{\ln C_0 - C_m}{\sigma \ln}\right) \right] + \frac{C_m}{1-C_0} \left[1 - \Phi(t) - \Phi(t^*) \right] \\ t = \frac{m}{\sigma \ln} + \sigma \ln; \quad f = \frac{\ln C_0 - C_m}{\sigma \ln} - \sigma \ln,$$

где

$\Phi(\tau)$ - функция стандартного нормального распределения

$$\Phi(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\tau} \exp\left(-\frac{\tau'^2}{2}\right) d\tau'.$$

Для нормального закона распределения содержания солей в почве, характеризующегося математическим ожиданием солесодержания C_m и дисперсии σm^2 , решение (3) можно представить в виде

$$\Delta \bar{y} = \frac{\bar{C}_0}{\bar{C}_0 - \bar{C}_m} \left[1 - \Phi(\bar{C}_0) \right] - \frac{\bar{C}_m}{\bar{C}_0 - \bar{C}_m} \left[1 - \Phi(\bar{C}_m) \right] + \\ + \frac{\exp\left(-\frac{1}{2} \bar{C}_0^2\right)}{\sqrt{2\pi}(\bar{C}_m - \bar{C}_0)} - \frac{\exp\left(-\frac{1}{2} \bar{C}_m^2\right)}{\sqrt{2\pi}(\bar{C}_m - \bar{C}_0)}; \quad (5) \\ \bar{C}_m = \frac{1 - \bar{C}_m}{\sigma_m}; \quad \bar{C}_0 = \frac{\bar{C}_0 - \bar{C}_m}{\sigma_m}.$$

Для равномерного распределения солесодержания в интервалах $\bar{C}_1$ и $\bar{C}_2$ и при условии, что $\bar{C}_0 < \bar{C}_1 < 1 < \bar{C}_2$

$$\Delta y = \frac{2(\bar{C}_2 - \bar{C}_1)(1 - \bar{C}_0) - (\bar{C}_1 - 1)^2}{2(C_2 - C_1)C_1 - C_0}. \quad (6)$$

Для нелинейных зависимостей ущерба урожая от засоления типа (2а) или существования более сложных типов распределения Пирсона γ и β - распределений содержания солей в почве [13] расчет прогнозного ущерба урожая следует проводить численным методом по (3). Однако в большинстве случаев простые типы распределений обеспечивают удовлетворительное согласие с реальной ситуацией.

Анализ решений (4), (5), (6) показывает, что расчет снижения урожайности от роста засоления (или прибавки от снижения

уровня засоления) должен проводиться с учетом законов распределения соледержания в почве и их статистических параметров. В противном случае результаты таких расчетов недостоверны.

Список использованной литературы

1. Муратова В. С. Варьирование засоления почв в пределах одного разреза (на примере анализа почвенных растворов) // Почвоведение. 1970. № 9.
2. Боровский В. М. Опыт изучения варьирования некоторых свойств почв Южного Казахстана // Почвенные комбинации и их генезис. М.: Наука, 1972.
3. Козловский Ф. И. Методы изучения солевого режима почв // Методы стационарного изучения почв. М.: Наука, 1977.
4. Маргулис В. Ю. Количественная оценка засоленности почв для промывки засоленных земель // Почвы крупнейших ирригационно-мелиоративных систем в хлопкосеющей зоне. Тр. Почв. ин-та им. В.В.Докучаева. М.: ВАСХНИЛ, 1975.
5. Сердобольский И. П. Варьирование химических свойств компонентов солонцового комплекса почв // Тр. Комиссии по ирригации. 1937. Вып. 9.
6. Тюремов С. И. Почвенно-грунтовые условия Южного участка Джафарханской опытной станции и его засоление. М., 1923.
7. Временные рекомендации по наблюдениям за мелиоративным состоянием и влажностью почвы на орошаемых землях РСФСР. Новочеркасск, 1971.
8. Шахов А. А. Солеустойчивость растений. М., 1956.
9. Bernstein L. Salt tolerance of plants. USDA Agr. Inf. Bul. 283, 1964.
10. Maas E.V., Hoffman L.S. Crop salt tolerance - current assessment - I. Irrig. Drain. Div. Proc. At. Sec. Civil. Eng., N 103, 1977.
11. Духовный В. А., Умарджанов Д. Методика оценки эффективности переустройства оросительных систем // Совершенствование гидромелиоративных систем. Научн. тр. САНИИРИ. Вып. 167. 1982.

12. Н а с о н о в В. Г., К а р а м о в Ф. С. О выборе оптимальных параметров дренажа // Повышение эффективности использования мелиорируемых земель. Научн. тр. САНИИРИ. Вып. 172. 1994.
13. Е г о р о в В. В., М и н а ш и н а Н. Г., Р о ш к о в А. А. Оценка распределения и аккумуляция солей в почвах при разных способах орошения // Изменение плодородия почв при орошении вновь осваиваемых земель. Тр. Почв. ин-та им. Докучаева. М.: ВАСХНИЛ, 1976.

УДК 626.862.4

Г.Е. Батурин

ТИПИЗАЦИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ВЫБОРА КОНСТРУКЦИИ ВОДОПРИЁМНОЙ ЧАСТИ И ТЕХНОЛОГИИ УКЛАДКИ ЗАКРЫТОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

Разнообразие природно-хозяйственных условий объектов строительства закрытого горизонтального дренажа Республики Узбекистан обуславливает необходимость дифференцированного подхода к выбору конструкции, материала фильтра и технологии укладки водоприёмной части закрытого горизонтального дренажа. Как показывает практика, они зависят в основном от литологического строения, механических, геотехнических и водно-физических характеристик разрабатываемых грунтов; залегания уровня грунтовых вод по отношению к глубине укладки дренажа.

Указанные факторы по своим характеристикам довольно разнообразны, а величины их параметров (водно-физических, механических, геотехнических) колеблются в значительных пределах. Так, в частности, по классификации Н.А. Качинского породы только по механическим фракциям подразделяются на 12 групп, а механическому составу на 9. Для наших целей такая раздробленность не целесообразна, и породы были сгруппированы следующим образом: весьма легкие, легкие, средние и тяжелые. При этом под категорией группы подразумеваются породы, объединенные по механическому составу, водопроницаемости и строительной. На основе анализа отечественного и зарубежного опыта строительства и эксплуатации закрытого горизонтального дренажа в табл. I приведена типизация гидрогеологических условий для выбора конструкций

Т а б л и ц а I.

Типизация гидрогеологических условий для выбора конструкций
и материала дренажного фильтра закрытого горизонтального дренажа

В зоне заложения дренажа		Положение уровня грунтовых вод		Конструкция дренажного фильтра	
категория грунта	механический состав	коэффициент водопроницаемости, м/сут			
1	2	3	4	5	
Весьма легкая	Песчаные Песчано-галечниковые грунты	$>1,0$	Ниже, на уровне и выше заложения дрена	Дренажная труба в обмотке рулонным 32М	
Легкая	Супесчаные и легко-суглинистые	0,6-1,0	Ниже дна заложения дрена	То же	
			На уровне заложения дрена	То же	
			Выше уровня заложения дрена	Дренажная труба в обмотке контиционным составом гравийно-песчаной смеси	
				Дренажная труба в обмотке рулонным 32М с обсыпкой неконтиниционной песчаной или песчано-гравийной смесью сверху и с боков	
Средняя	Средне- и тяжелосуглинистые и легкие глины	0,3-0,6	Ниже дна заложения дрена	Дренажная труба в обмотке рулонным 32М	
			На уровне заложения дрена	Дренажная труба в обмотке контиционным составом гравийно-песчаной смеси	

		1				2				3				4				5			
		I				II				III				IV				V			
Тяжелая	Средние и тяжелые глины	< 0,3																			
	Выше уровня заложения дрена	Дренажная труба в обмотке рулонным ЗМ с обсыпкой сверху и с ков неконтинионной песчаной или песчано-гравийной смесью				Дренажная труба в обсыпке конти- цинным составом гравийно-песча- ной смесью				Дренажная труба в обмотке рулон- ным ЗМ и с круговой обсыпкой не- континионной песчаной или песчано- гравийной смесью				Дренажная труба в обсыпке конти- цинным составом гравийно-песча- ной смесью				Дренажная труба в обмотке рулон- ным ЗМ с круговой неконтинионной обсыпкой песчаной или песчано-гра- вийной смесью			
	Ниже, на уровне и выше гна заложения дрена																				

П р и м е ч а н и е. Континионный состав фильтровой обсыпки, отвечающий нормативным требованиям по количественному содержанию частиц различного размера, неоднородности и водопроницаемости; неконтинионный-состав фильтровой обсыпки, отвечающий требованиям по неоднородности и водопроницаемости, но допускающий при соче- тании с рулонным ЗМ применение более мелких (песчаных) по фракционному со- ставу смесей.

и материала дренажного фильтра закрытого горизонтального дренажа.

В соответствии с паспортными характеристиками дреноукладочных машин, применяемых в Узбекистане, и с учетом опыта строительства в табл. 2 даны условия их применимости в зависимости от категории грунтов по механическому составу, положения уровня грунтовых вод по отношению к заложению водоприёмной части: дрены, конструкции и материала фильтра. При этом принят и широкотраншейный (полумеханизированный с отрывкой траншеи экскаватором, укладки труб и фильтра вручную на полку) способ строительства, так как он на сегодняшний день – единственно возможный по укладке труб большего диаметра (> 200 мм) для собирателей и коллекторов, а также при строительстве дренажа на интенсивно заболоченных землях.

Принятая в табл. 2 градация по положению уровня грунтовых вод по отношению к дну заложения водоприёмной части дрен обусловлена следующим:

более 0,5 м – из условия применения бестраншейных дреноукладчиков;

менее или равное 0,5 м – из условия ограничения применения узкотраншейных дреноукладчиков;

на уровне и ниже дна дрены – из условия ограничения применения искусственных рулонных защитно-фильтрующих материалов. В соответствии с опытом строительства и эксплуатации, нормами на проектирование не допускается укладка рулонных ЗФМ в водонасыщаемые супесчаные и суглинистые грунты и в грунты с коэффициентом фильтрации менее $0,3 \text{ м}^3$.

Для определения гидрогеологических условий расширена возможность применения дреноукладчиков Германии (Супер-Гигант, Хапконь), так как за счет более высоких скоростей землеройного активного рабочего органа происходит вычерпывание образовавшейся пульпы и непосредственная присыпка водоприёмной части дрен менее влажным грунтом с бортов траншеи дрен (табл. 2).

Кроме указанных факторов, определяющих конструкцию водоприёмной части и технологию её укладки, немаловажное значение для обоснования механизмов и всего технологического комплекса строительства закрытого горизонтального дренажа имеют климатические, топографические (рельеф местности, наличие естественных и искусственных насаждений, различные сооружения) условия,

Типизация гидрогеологических условий применимости
способа строительства и дренажующих механизмов
(панные Г.Е.Батурина, Г.Р.Хлимовой)

Способ строительства	Марка дреноукладчика	Материал дренажного фильтра	Категория грунтов	весьма легкая	легкая	средняя	тяжелая
				положение урвня грунтовых вод по отношению к заложению			
				водоприемной части прены			
				ниже 170,5 м	ниже 170,5 м	ниже 170,5 м	ниже 170,5 м
				пна	пна	пна	пна
Гирокотран- шейный	-	С,В,К	+	+	+	+	+
Траншейный	ЭД-3,0А	С,В,К	-	-	-	-	-
	ЭТЦ-406	С,В,К	+	+	+	+	+
Узкотраншей- ный	ЭТЦ-406А	С,В,К	-	-	-	-	-
	ЛУ-251	С,В,К	+	+	+	+	+
	ЛУ-301	С,В,К	+	+	+	+	+
	ЛУ-3502	С,В,К	+	+	+	+	+
	ЛТС-3,05	В	+	+	+	+	+
	ЛУ-3501	В	+	+	+	+	+
	Супер-гигант 524 и Хайконс 6027 В	С,В,К	+	+	+	+	+
Бестраншей- ный	ДБ-251 и ДБ-252	С,В,К	+	+	+	+	+
	МД-4 и МД-12	В	+	+	+	+	+

П р и м е ч а н и е. С - фильтр из сыпучих материа.; В - рулонные защитно-фильтрующие; К - ком-
бинированный; Х - при близком залегании грунтовых вод необходимо осуществлять
пробные проходки дреноукладчика; + укладка возможна, - не рекомендуется.

более подробные сведения о разрабатываемых почвогрунтах (твердость, консистенция, угругость, агрегатность, влажность и др.), хозяйственные особенности (староорошаемые, новоосваиваемые, реконструируемые земли, наличие местных сырьевых ресурсов и т.д.), а также технические характеристики механизмов (удельное давление, габариты, производительность, маневренность и т.д.).

УДК 626.862.91

Г.Р.Климова, Н.М.Салихов

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ИСКУССТВЕННЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ЗАКРЫТОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В ФЕРГАН- СКОЙ ОБЛАСТИ

Опыт эксплуатации закрытого горизонтального дренажа в Узбекистане показал, что для обеспечения его требуемой работоспособности необходимо дифференцировать выбор конструкции дрен, учитывая как свойство дренажных материалов и дренируемых грунтов, так и способ строительства в определенных гидрогеологических условиях.

Широкое внедрение пластмассового дренажа с фильтром из защитно-фильтрующих материалов (ЗФМ) в практику мелиоративного строительства тормозится из-за недостаточной их изученности. Прежде всего необходимы новые технические решения; проведение комплексных исследований ЗФМ и создание на их основе высокоэффективных конструкций фильтров, разработка методов их расчета и т.д.

В Ферганской области с 1986 г. ведётся строительство пластмассового дренажа с конструкцией водоприёмной части из искусственного фильтрующего материала узкотраншейным дреноукладчиком фирмы ФРГ "Супер-гигант-525", при этом не учитываются ни категория и особенности дренируемых грунтов, ни уровень залегания грунтовых вод.

Данные института "Ферганагипроводхоз" и проведенное совместно с САНИИРИ обследование дренажных систем с рулонными ЗФМ подтвердили его низкую эффективность, особенно при строительстве в трудномелиорируемых грунтах в условиях напорного питания грунтовых вод.

Анализ орошаемых земель Ферганской долины показал, что значительная часть территории – 380 тыс га (48%) – характеризуется близким уровнем залегания грунтовых вод (0–2 м) и 170 тыс га (22%) относятся к трудномелиорируемой категории почвогрунтов.

Для усовершенствования закрытого горизонтального дренажа с рулонным защитно-фильтрующим материалом в трудномелиорируемых почвогрунтах с близким уровнем залегания грунтовых вод в Ферганской долине проводились комплексные (лабораторные и натурные) исследования по изучению и обоснованию применения искусственных ЗФМ в конструкции водоприёмной части дрены.

Объектом исследований служили участки, расположенные в Риштанском и Узбекистанском районах. Выбор обусловлен тем, что почвы в этих районах тяжелые, с низким значением коэффициента фильтрации при близком залегании грунтовых вод в условиях напорного питания.

Искусственные рулонные ЗФМ исследовались в лабораторных условиях на фильтрационных приборах типа Дарси и секторных лотках. В качестве фильтров использованы рулонные искусственные материалы ТУ-УзССР-201-80 ($K_f = 110$ м/сут), ТУ-205-УзССР-87-62 ($K_f = 90$ м/сут) и ТУ-171425525 ($K_f = 60$ м/сут). Толщина их 3–4 мм, поверхностная масса 450–575 г/м².

Грунты для опытов отбирались на объектах строительства горизонтального дренажа в Алтыарыкском, Багдадском, Риштанском и Узбекистанском районах. По классификации Н.А. Качинского, исследуемые грунты относятся к тяжелым суглинкам и только грунты из колхоза им. Г. Гуляма Узбекистанского района – к легким глинам. Основные характеристики грунтов Алтыарыкского района – $d_{10} = 0,0012$ мм, $d_{50} = 0,014$ мм; $d_{60} = 0,025$ мм; Риштанского района – $d_{10} = 0,00065$ мм; $d_{50} = 0,0065$ мм; $d_{60} = 0,013$ мм, Узбекистанского района – $d_{10} = 0,0008$; $d_{50} = 0,0028$; $d_{60} = 0,0048$ мм.

Каждый опыт продолжался 30–40 сут и прекращался при стабилизации напоров и фильтрационного расхода. Фиксировались расход, температура воды, распределение напоров в контактной зоне и по слою в грунте. После опытов определяли степень коагуляции фильтра и вес вынесенных в отстойник суффозионных частиц.

В начале опытов фильтрационный расход для всех вариантов составил 0,091–0,093 см³/с. За счет консолидации грунта фильтрационный расход снизился до 0,036–0,015 см³/с и соответственно

ум. лшился коэффициент фильтрации дренируемых грунтов в 3,25–7,3 раза (рис. I). При этом установившийся коэффициент фильтрации дренируемого грунта во всех опытах составил 0,038–0,040 м/сут.

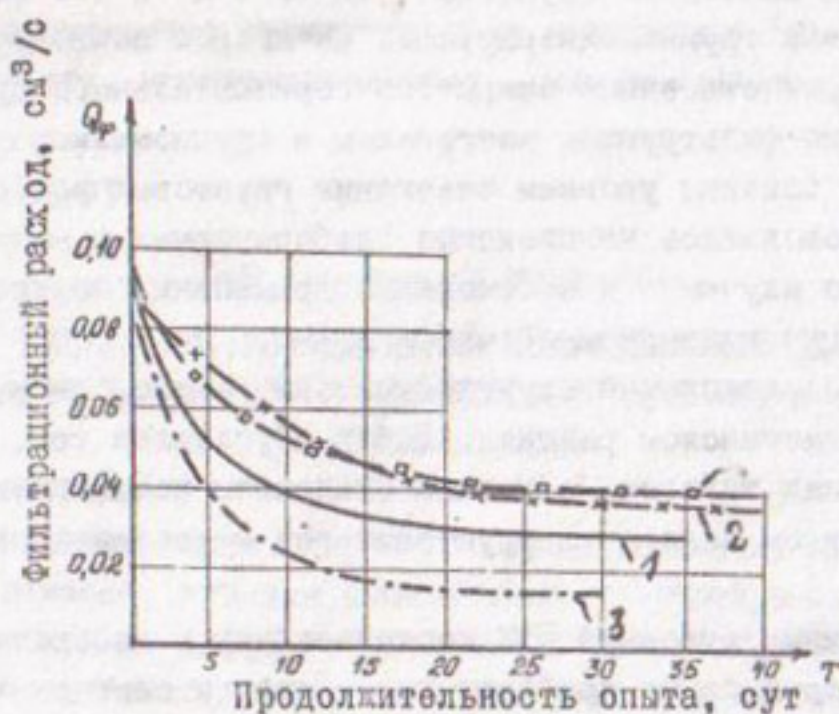


Рис. I. Динамика фильтрационных расходов с фильтром из ЗМ (ТУ-УзССР-20I-80) и комбинированным фильтром по вариантам опыта.

Тяжелый суглинок: I – колхоз "Москва" (Багдадский район); 2 – колхоз "Пахтаабад"; 3 – колхоз Риштан (Риштанский район); колхоз "Москва" (с комбинированным фильтром).

Визуальный осмотр фильтров и расчеты показали, что при фильтрации через дренируемый грунт, представленный по механическому составу тяжелым суглинком с наличием шохового горизонта, в зоне заложения дренажа (колхоз "Москва") наблюдались колыматация фильтра и максимальный вынос суффозионных частиц через фильтр. Суммарный удельный показатель фильтрационных деформаций (колыматация – 0,060 г/см² и суффозия – 0,148 г/см²) для данного грунта составил 0,208 г/см².

Суффозионного выноса через исследуемые ЗМ в остальных вариантах опыта не отмечено. При этом частицы грунта проникли практически на всю глубину фильтра, но степень колыматации по глуби-

не была различной. В основном она отмечалась в поверхностном слое.

Степень кольматации фильтра α (снижение водопрёмной способности) определяли по зависимости Н.Г.Пивовара (1989):

$$\alpha = \frac{K_{\Phi H}}{K_{\Phi З}},$$

где $K_{\Phi H}$ - коэффициент фильтрации на чистой воде перед опытом, м/сут;

$K_{\Phi З}$ - коэффициент фильтрации закольматированного фильтра, м/сут.

Отмечено снижение фильтрационных свойств фильтра из ЗФМ (ТУ-171452525) в 1,13-8,9 раза, из ЗФМ (ТУ-205-УзССР-8782) - в 1,87-27,3. Полученные величины коэффициентов фильтрации закольматированного фильтра в 10 раз и более выше водопроницаемости дренируемого грунта, что обеспечивает выполнение одного из основных требований, предъявляемых к фильтрам закрытого дренажа.

Для обеспечения защиты связных грунтов и увеличения водопрёмной способности дрены рассматривался вопрос применения комбинированного (объёмного) фильтра, т.е. дополнительной обсыпки искусственных ЗФМ местным некондиционным сыпучим материалом.

Комбинированный фильтр позволил повысить водопрёмную способность, снизить степень кольматации фильтра (в 10-15 раз) из рулонного материала, получить высокие значения коэффициента дополнительного фильтрационного сопротивления ($\delta = 0,92-0,96$) по сравнению с обмоткой ЗФМ ($\delta = 0,68-0,74$).

Таким образом, результаты лабораторных исследований, проводившихся в течение двух лет с суглинистыми грунтами Ферганской области, показали, что применять искусственные ЗФМ в качестве фильтров при строительстве закрытого горизонтального дренажа в трудномелиорируемых почвах Ферганской области можно только в сочетании с обсыпкой из гравийно-песчаной смеси некондиционного состава. Это позволяет снизить требования к рассыпным материалам с учетом условий их просыпаемости.

Натурные исследования в течение трёх лет на опытных участках пластмассового дренажа с фильтром из рулонных ЗФМ в Риштанском (совхоз "Риштан", колхоз им.В.Куйбышева) и Узбекистанском (колхоз им.Г.Гуляма) районах, подтвердили его низкую работоспособность.

При строительстве дрен с фильтром из рулонного ЗФМ в условиях высокого стояния уровня грунтовых вод с низкими фильтрационными свойствами дренируемых грунтов выявилось несоответствие фактических расходов дрен и уровня залегания грунтовых вод их проектным значениям.

Средневегетационный уровень залегания грунтовых вод находился на глубине 0,3–0,5 м от поверхности земли при требуемой норме осушения 1,4–1,5 м, а значение дренажного модуля составило 0,08–0,22 л/с га при проектном 0,47 л/с га для Узбекистанского района и 0,004–0,045 л/с га при проектном 0,28 л/с га – для Риштанского.

Расчет для условий опытных участков показал, что при применении фильтра из рулонного материала в Узбекистанском районе междреннее расстояние составило 23 м против 70 м по проекту и соответственно в Риштанском районе 40 м против 80 м.

Таким образом, дренаж с фильтром из искусственного материала при междреннем расстоянии 70–80 м, глубине заложения 2,5–2,7 м не способен обеспечить его высокую мелиоративную эффективность. Вторая причина неудовлетворительной работы дренажа – отложение пульты высокой консистенции вокруг фильтра из рулонных материалов при прокладке дрен в тяжелых по механическому составу почвогрунтах с уровнем залегания грунтовых вод.

Обеспечить защиту связанных грунтов и увеличить водопримную способность дрен в трудномелиорируемых грунтах, как показали результаты лабораторных исследований, можно за счет устройства объемного (комбинированного фильтра).

Для определения работоспособности пластмассового дренажа в 1990 г. построен опытный участок в колхозе им. Г. Гуляма, представленный тремя системами закрытых дрен с конструкцией водопримной части из комбинированного фильтра. Основные проектные параметры дренажа: глубина $H = 2,5–3,0$ м, междреннее расстояние $B = 60$ м. Строительство дренажа осуществлено дреоукладочным механизмом "Супер-Гигант-525", переоборудованным для укладки в водопримной части гравийно-песчаной смеси.

При изучении динамики уровней грунтовых вод по вариантам опыта установлено, что на участке дренажа с фильтром из рулонного материала скорость сработки уровня грунтовых вод на междренье составляла 1,2–2,5 см/сут, при устройстве в водопримной части комбинированного фильтра скорость снижения уровня грунто-

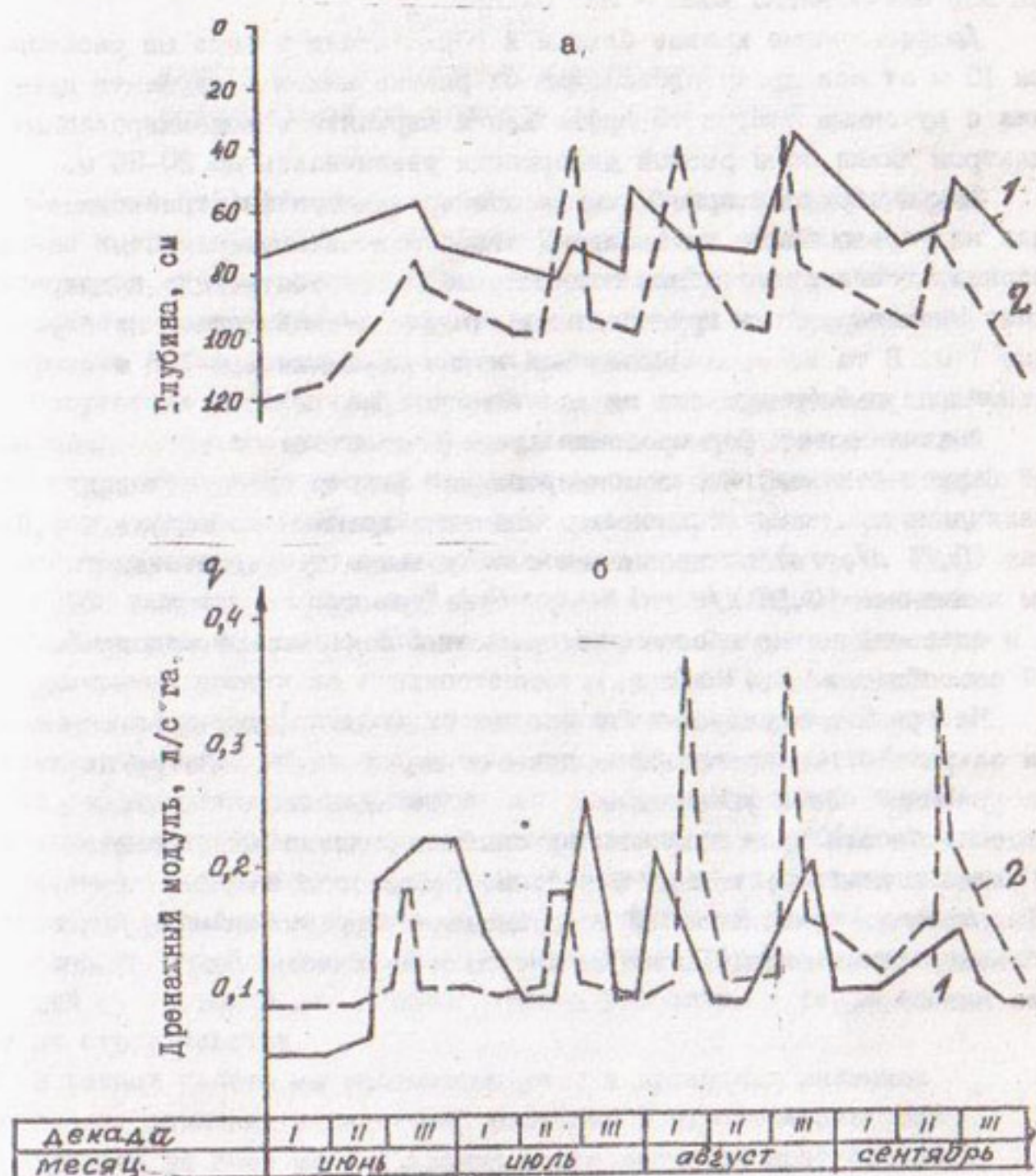


Рис. 2. Динамика уровня грунтовых вод (а) и гидрограф дренажного модуля (б) для дрен с различной конструкцией фильтра:

I - дрена с рулонным ЗФМ; 2 - дрена с комбинированным фильтром.

вых вод значительно выше - 3-5 см/сут.

Депрессионные кривые близки к горизонтали и лишь на расстоянии 10 м от оси дрены происходит их резкий излом в варианте дренажа с рулонным ЗМ, в то время как в варианте с комбинированным фильтром длина зоны резкой деформации увеличилась до 20-25 м.

Таким образом, применение комбинированного фильтра обеспечило не только более интенсивный отвод воды из поверхностных горизонтов после прекращения поливов, но и способствовало поддержанию низкого уровня грунтовых вод в межполивной период на глубине 1 м. В то же время проектной нормы осушения 1,4-1,5 м в первый год работы дренажа не достигнуто (рис. 2).

Анализ данных формирования дренажного стока за вегетационный период показал, что комбинированный фильтр способствовал увеличению средневегетационного значения дренажного модуля в 1,3 раза (0,21 л/с га) по сравнению с полученным средневегетационным значением (0,16 л/с га) на участке дренажа с рулонным ЗМ. Но и здесь дрены не обеспечили проектных показателей водоприёмной способности (0,47 л/с га).

На основании результатов исследований по оценке эффективности закрытого горизонтального дренажа с различной конструкцией водоприёмной части установлено, что более высокие показатели работоспособности дрен получены на опытном участке колхоза им. Г.Гуляма с комбинированным фильтром. Работоспособность дренажа с фильтром из рулонного ЗМ в трудномелиорируемых почвогрунтах с близким залеганием УГВ в Риптанском и Узбекистанском районах была низкой.

УДК 626.862.4

В. Н. Бердянский

КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ ВОДОЗАХВАТНОЙ И ВОДОПРИЁМНОЙ СПОСОБНОСТИ ЗАКРЫТЫХ ДРЕН

Повышение эффективности работы закрытой горизонтальной дрены можно и следует искать в её конструкции. Как показали наши исследования, лучше всего требованиям интенсификации работы дрены отвечает конструкция из гофрированных труб с комбинированным фильтром из волокнистых и зернистых материалов.

Отсутствие достаточной научной основы для определения водоприёмной способности служило причиной неадекватных рекомендаций по конструктивным параметрам закрытых дрен из пластмассовых труб. Более того, нередко рекомендации были различны и противоречивы, а порой компрометировали использование пластмассовых труб. Так, в конце 60-х годов в совхозе № 4 Голодной степи (Сырдарьинская область) на площади около 100 га был построен бестраншейным способом закрытый дренаж из гладкостенных с щелевой перфорацией полиэтиленовых труб с фильтром из капроновой ткани, который практически не работал. Другой пример - закрытый дренаж из гофрированных перфорированных полиэтиленовых труб, построенный также бестраншейным способом на землях нечерноземной зоны РСФСР на многих тысячах гектаров тоже практически оказался неработоспособным. Имеется ряд подобных примеров, в которых причиной плохой работы или полного бездействия явились неадекватность применённых конструкций грунтовым и гидрогеологическим условиям, а также способу их строительства.

В данной работе мы рассмотрим учет в проектных решениях возможности снижения капитальных вложений в строительство закрытого дренажа за счет использования в его расчетах прогрессивных конструкций и правильной оценки их водоприёмной и водозахватной способностей.

Особая важность учета предлагаемых теоретических суждений в практических расчетах конструкций закрытых дрен объясняется тем, что в Узбекистане, как и в других странах Среднеазиатского региона, объём строительства их из полимерных гофрированных труб к настоящему времени практически приблизился к 100%.

Известно, что водозахватная способность закрытой дрены пропорциональна поверхности контакта с дренируемым грунтом, удельной величине и равномерности размещения скважности дренажной линии, конструктивному исполнению водоприёмной части. Поэтому конструкции дренажных линий из гладких труб без фильтрующей защиты, а также с защитой плоскими (необъёмными) фильтрами (рис. 1а, б) обладают низкой водозахватной и водоприёмной способностью. Эти понятия для такого исполнения дренажной линии являются по сути и в практическом значении для расчетов единым параметром из-за отсутствия продольной и поперечной фильтрации грунтовой воды к перфорации.

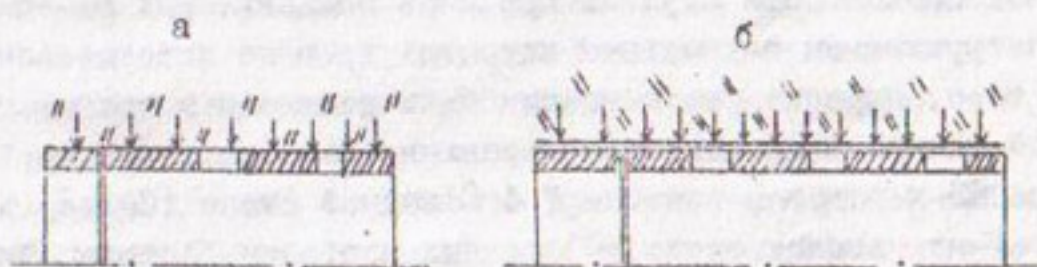


Рис. 1. Конструктивная схема дренажной линии из жестких труб со скважностью в стыках или в перфорации:

а - без фильтрующей защиты; б - с защитой тканевым фильтром.

При использовании объёмных фильтров водозахватная способность дренажной линии принципиально отличается от водоприёмной способности трубчатой линии, так как у неё появляется значительно преобладающее движение грунтовой воды по телу фильтра во все направления.

В Узбекистане и других регионах Центральной Азии в качестве объёмного фильтра для закрытого дренажа используются песчано-гравийные смеси, применение которых с трубами из различных материалов и конструкций обеспечивают при прочих равных параметрах неодинаковые водозахватную и водоприёмную способности, так как первая определяется поверхностью контакта с дренируемым грунтом, а вторая - площадью контакта с перфорацией (рис. 2а, б).

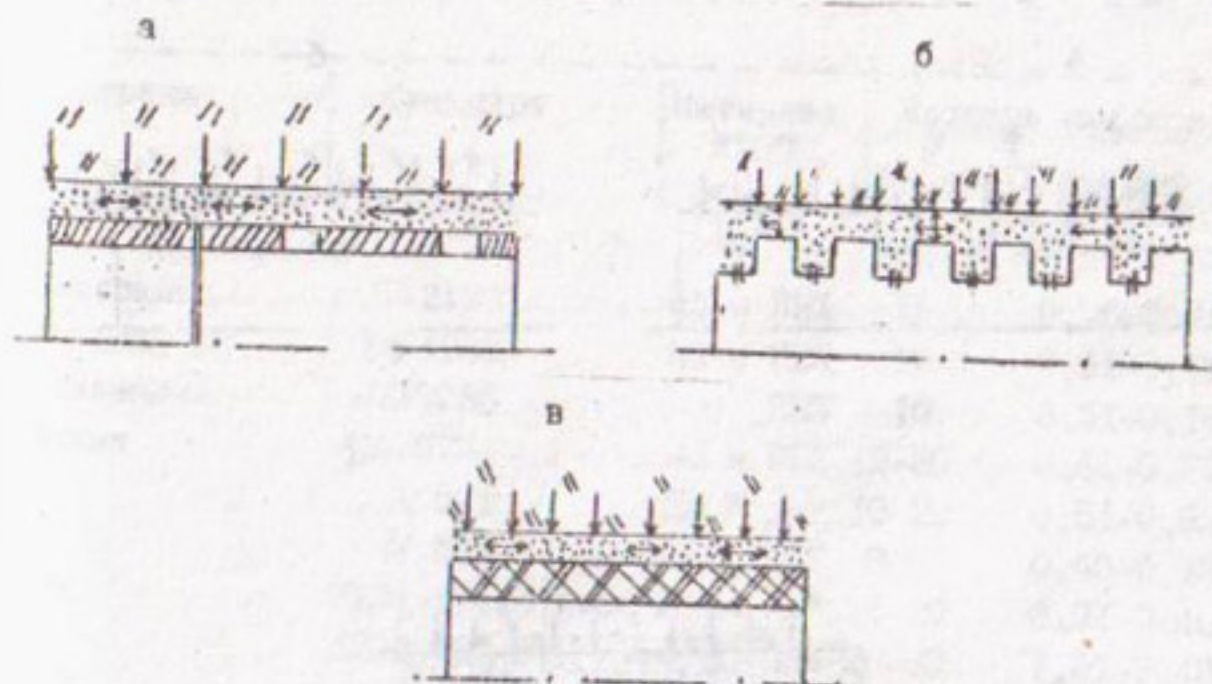


Рис. 2. Конструктивная схема дренажной линии с защитой зернистым фильтром:

а - жестких труб со скважностью в стык или в перфорации; б - гофрированных труб со скважностью во впадинах; в - жестких труб со скважностью в пористых стенках.

Особые условия фильтрации грунтовой воды складываются при применении объёмных волокнистых и комбинированных с ними зернистых фильтров на гофрированных трубах, у которых перфорация устроена во впадинах (рис. 3а, б, в).

Основной расчетной характеристикой водоприёмной способности трубчатой линии дрены служит удельная площадь её перфорации, оптимальная величина которой, вплоть до конца 70-х годов, определялась 0,3-0,5% от наружной поверхности труб [1]. Со второй половины 80-х годов и до настоящего времени удельную перфорацию начали определять абсолютными размерами по отношению к длине трубопровода независимо от его диаметра, как это видно из технических условий на полимерные трубы (ТУЗЗ-1018312-86 и ТУЗЗ-261-86), а также по данным стандартов стран дальнего зарубежья (табл. 1).

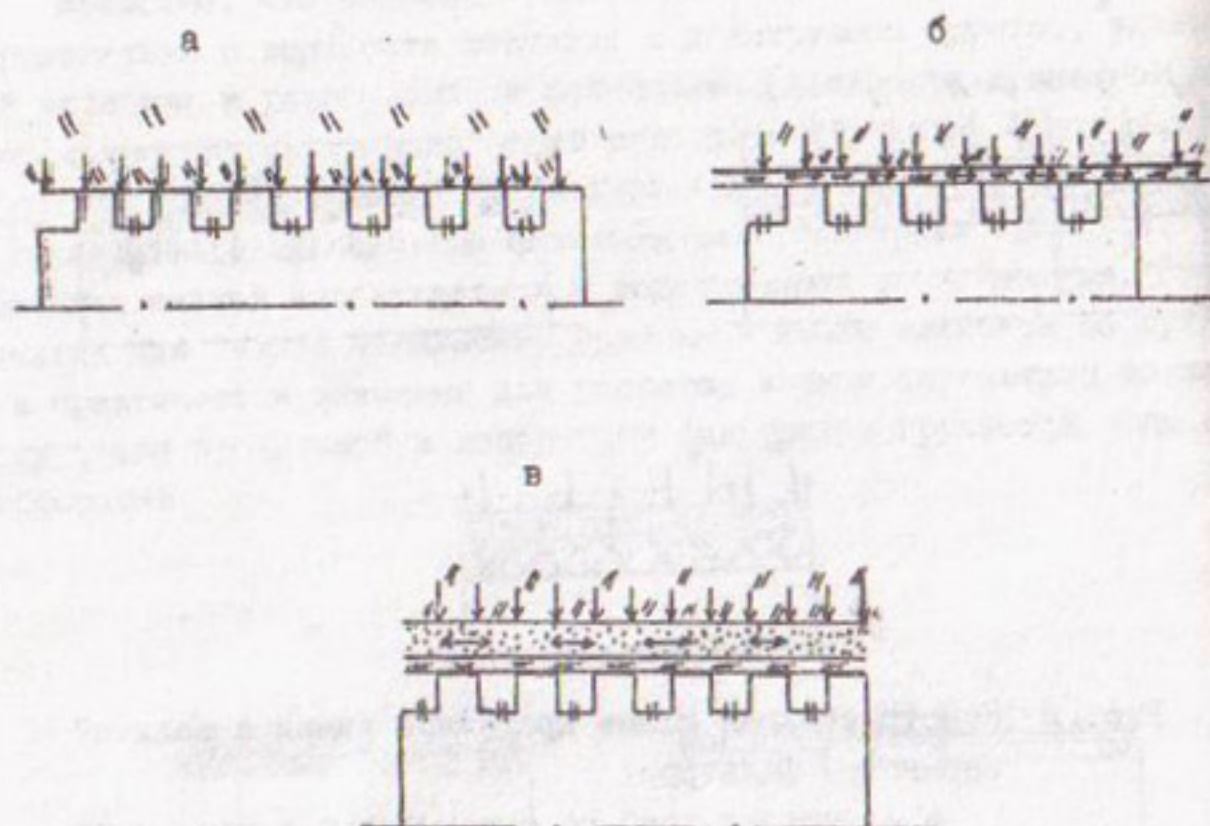


Рис. 3. Конструктивная схема дренажной линии из гофрированных труб со скважинами во впадинах и защищенных:

а - плоским тканевым фильтром; б - объёмным фильтром из волокнистого материала; в - комбинированным фильтром из волокнистого и зернистого материалов.

Т а б л и ц а I

Страна	Стандарт	Материал труб	Площадь перфораций	
			см ² /м	% по отношению к $d_{тр}=63-200$ мм
Австралия	AS 2439	ПЭ и ПВХ	15	0,76-0,24
Англия	BS 4962	ПЭ и ПВХ	10	0,51-0,16
Голландия	NEN 7036	ПВХ	10	0,51-0,16
Дания	DS 2077 I	ПЭ и ПВХ	12-20	0,61-0,32
ИСО	N 571	ПЭ	10-20	0,51-0,32
	N 569	ПВХ	8	0,40-0,13
СНГ	TU33-1018312-86	ПЭ	14-29	0,71-0,46
	TU33-291-87	ПВХ	20-30	1,01-0,48
США	ASTM 405-82a	ПЭ	21	1,06-0,33
Скандинавские страны	UNSTA 2072/I	ПЭ и ПВХ	12-20	0,61-0,32
Финляндия	SES 3431:3	ПВХ	20	1,01-0,32
Франция	NF 51-151	ПВХ	20	1,01-0,32
Германия	DIN 1187	ПВХ	8	0,40-0,13
Чехия и Словакия	CSN 138740	ПЭ и ПВХ	10-15	0,51-0,76

Анализ данных табл. I показывает, что требования к скважности дренажных труб разных стандартов как по странам, так и внутри одной страны либо неоправданно завышены, либо занижены. Кроме того, скважность труб, а следовательно, и их водоприёмная способность не связаны ни со стандартами, ни с расчетными формулами, приводимыми в технической литературе с такой характеристикой грунтов, как их коэффициент фильтрации.

Многие ученые [2-10], основываясь на результаты своих и данные других исследований осушительного действия закрытого дренажа из различных по материалу и конструкции труб, считают, что повышение его интенсивности полностью связано с преобразованием пространственной фильтрации в радиальную. О водоприёмной способности, величина которой зависит от диаметра труб и их скважности судят по абсолютной величине последней, отнесенной к единице длины трубы (от 4 до 1500 см²/м). Кроме того, некоторые исследователи указывают на общую тенденцию к увеличению диаметров поле-

вых дрен якобы с целью улучшения условий для технической эксплуатации, не раскрывая при этом, в чем конкретно эти условия выражаются. Такой подход к определению основных характеристик дренажной линии автор считает неверным, так как ни в техническом, ни в экономическом планах он не оправдан.

В современной технической литературе, включая и узкоспециальную, рассматривается вопрос о работе закрытых горизонтальных дрен с волокнистым фильтром и приводятся рекомендации о правильном выполнении перфорации на дренажных трубах, их форме и размерах, размещении на трубе и ориентировке в пространстве при укладке в грунт. Так, проф. Н.Г.Пивовар [11] рекомендует перфорировать трубы для глубокого (1,5-7 м) дренажа с волокнистым фильтром и обсыпкой местным песком в виде продольных (реже поперечных) щелей шириной 24 мм и длиной 50-100 мм или круглых отверстий диаметром 5-10 мм. При этом щели и отверстия рекомендует размещать в нижней части трубы. При укладке труб на водоупор предлагает их, т.е. перфорацию, ориентировать сверху. Для мелкого (до 1,5 м) дренажа перфорация рекомендуется также в форме продольных щелей, но уже шириной 0,5-2 мм при длине 3-50 мм и в виде круглых отверстий диаметром 1-2 мм. При этом перфорация рекомендуется располагать в 4-8 рядов по окружности равномерно.

На основе анализа этих рекомендаций можно сделать вывод, что ни в одной из них нет инженерной логики ни в смысле конструктивных особенностей, гидравлике процессов, механике, включая прочностные характеристики труб и волокнистого фильтра, ни в смысле способа выполнения перфорации, технологичности укладки труб в грунт. В связи с этим мы предлагаем установить порядок и метод расчета основных гидравлических, механических и технологических характеристик водоприёмной части закрытых дрен, а именно:

процент и размеры перфорации следует принимать максимально возможным исходя из конструкции трубы, а также с учетом её и волокнистого фильтра прочности;

форма и размеры перфорации должны определяться и сочетаться с рациональной технологией производства труб;

расположение перфорации по окружности и длине труб должно быть равномерным в соответствии с гидравликой и технологией их укладки.

Для того чтобы количественно оценить максимально возможный удельный объём грунтовой воды, который необходим и может захватываться

титель закрытая дрена из грунта с коэффициентом фильтрации $K_{гр}$, материал её фильтра должен обладать водопроницаемостью, определяемой из неравенства

$$K_{\phi} \geq K_I \cdot K_{гр},$$

где K_I — коэффициент запаса (обеспеченности) водозахватной способности дренажной линии. Его величина, по рекомендациям технической литературы, принимается равной 3-20.

Чтобы дренажный трубопровод мог принять такой удельный объём воды из фильтра, его скважность должна обеспечить соответствующую пропускную способность, которая определяется исходя из конструктивных особенностей водоприёмной части дрены, включающей трубы и защищающий её фильтр. Во всех случаях пропускная способность перфорации дренажной трубы (K_T) должна определяться из неравенства

$$K_T \geq K_2 \cdot K_{гр},$$

где K_2 — коэффициент запаса, обеспечивающий нагнетную водопроницаемость дренажной трубы. Его величина должна приниматься, как правило, не менее 2 с расчетом на допустимое перекрытие в процессе эксплуатации до 50% живого сечения трубы.

Круговой песчано-гравийный фильтр, расположенный около дренажного трубопровода, с коэффициентом фильтрации $K_{\phi} \geq K_{гр}$ — коэффициента фильтрации грунта обеспечивает максимальную водозахватную способность на контакте с дренируемым грунтом, приближая эффект к идеальной дрене.

Рассматривая дренажный трубопровод из гофрированных труб и его водоприёмную способность, следует отметить два возможных варианта при определении его скважности. Первый — при контакте песчано-гравийного фильтра непосредственно с поверхностью, которая перфорируется, и второй, когда между зернистым фильтром и трубопроводом размещается волокнистый фильтр. Второй вариант для расчета скважности может быть рассмотрен и в другом исполнении: дренажный трубопровод обтянут вокруг только полстеной из волокнистого материала, который непосредственно контактирует с дренируемым грунтом.

В обоих вариантах волокнистый фильтр на гофрированной трубе образует перед перфорацией круглые камеры (рис. 3а, б, в), которые обеспечивают сбор грунтовой воды и свободное истечение её в трубопровод через все отверстия, находящиеся во впадинах. Логика наших рассуждений позволяет утверждать, что используемые в настоящее время формулы для расчета водоприёмной способности в рассмотренных конструкциях дренажных линий, неверно оценивают значение волокнистого фильтра только по его толщине.

Каждое кольцо во впадинах гофрированного трубопровода следует рассматривать как поверхность идеальной дрены. При этом каждое кольцо выступающих гофр, контактирующих с волокнистым фильтром, обеспечит дополнительный практически свободный боковой приток в камеры кольцевых впадин. Последнее будет проявляться в силу малого пути боковой фильтрации, равного всего половине ширины выступающего гофра, и значительно большей скорости. Величина коэффициентов фильтрации в поперечном и продольном направлениях у применяемых волокнистых фильтров практически одного порядка, а их абсолютное значение по условиям расчетов защитных фильтров должно быть на переходах (контактах), согласно данным технической литературы, в 3-10 раз больше при увеличении от дренируемого грунта к дренажному трубопроводу. Поэтому не должно и не может возникнуть сколько-нибудь заметных дополнительных сопротивлений. Все это позволяет утверждать, что водоприёмная поверхность гофрированного трубопровода с волокнистым фильтром стремится для используемых полимерных типов и размеров труб к 100%, т.е. к полной поверхности цилиндра измеренного снаружи фильтра. Сквозность трубопровода должна определяться размерами и количеством отверстий, через которые вода из "форкамер" должна перетекать в полость трубопровода.

Список использованной литературы

1. Инструкция по проектированию оросительных систем. Ч.УШ
Дренаж на орошаемых землях. ВСН-П-8-74. М., 1979.
2. А в е р ь я н о в С. Ф. Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель. М.: Изд. АН СССР, 1959. 84 с.
3. А р т а м а н о в с к и й О. Ю., О с и п ч у к Л. Н.
Устройство трубчатого дренажа в неустойчивых водонасыщенных грунтах. Е.Гим. 1973. ч 7.

4. В е д е р н и к о в В. В. Теория фильтрации и её применение в области ирригации и дренажа. М.; Л.: Госстройиздат, 1939.
5. И г н а т е н о к Ф. В. Закрытый дренаж почв. М.: Колос, 1965.
6. Ш е с т а к с в В. М. Теоретические оценки подпора, водопонижения и дренажа. МГУ, 1965. 233 с.
7. М у р а ш к о А. И. Горизонтальный пластмассовый дренаж. Минск: Ураджай, 1973. 207 с.
8. М у р а ш к о А. И. Пластмассовый дренаж. Минск: Ураджай, 1969. 193 с.
9. М у р а ш к о А. И. Сельскохозяйственный дренаж в аридной зоне. М.: Колос, 1982. 272 с.
10. Справочник. Осушение/ Под ред. Б.С.Маслора. Агропромиздат, 1985.
11. П и в о в а р Н. Г., Б у г а й Н. Г., Р ы ч к о В. А. Дренаж с волокнистыми фильтрами. Киев: Наукова думка, 1980.
12. Мелиоративные системы и сооружения. Дренаж на орошаемых землях: Нормы проектирования. ВСН33-2.2.03-86. М., 1987.

УДК 626.862.4

А. Абиров

ОПТИМАЛЬНЫЙ СРОК СЛУЖБЫ МЕЛИОРАТИВНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

В Республике Узбекистан на площади около 400,0 тыс га орошаемых земель построено более 8,0 тыс скважин вертикального дренажа.

В общей системе мелиорации, как показала практика, вертикальный дренаж имеет высокую мелиоративную эффективность. Критериями, определяющими дренаж, служит скорость нисходящей фильтрации в покровной толще, которая должна быть больше скорости диффузии. Обладая рядом преимуществ, в отличие от других видов, вертикальный дренаж в то же время является достаточно капиталоемким при строительстве и имеет значительные ежегодные затраты на эксплуатацию.

Если дренаж запроектирован с учетом прогрессивных технологий и использованием долговечных материалов, то можно достигнуть значительного снижения затрат за счет увеличения срока эффективной службы и грамотной эксплуатации систем вертикального дренажа.

Нормативный срок службы дренажных скважин устанавливался в бывшем СССР, согласно "Положению..." [1], 10-15 лет с периодичностью капитального ремонта 2-4 года, причем меньший срок - для скважин, работающих в агрессивных водных средах. Скважины вертикального дренажа в большинстве случаев работают в условиях агрессивных сред.

На практике нормальный срок (эффективный период времени) работы дренажных скважин, причем построенных с использованием металлических фильтров, составляет 20-25 лет.

По мере старения скважин увеличиваются эксплуатационные расходы, затраты труда, энергии и материалов на технологическое обслуживание и ремонт скважин и т.п., что заставляет эксплуатационные организации прекратить их работу. До настоящего времени при эксплуатации систем вертикального дренажа научно обоснованный анализ оптимального срока службы скважин не проводился.

На основании многолетних натурных исследований и фактических материалов попытаемся установить предел невыгодности эксплуатации дренажных скважин. Определение оптимальных сроков их службы, а также отдельных конструктивных и неконструктивных элементов - экономическая задача. Необходимо установить срок, при котором эксплуатирующая организация, являющаяся потребителем скважин и принявшая на себя все затраты и потери от строительства до последнего срока эксплуатации, будет иметь минимальные затраты и потери.

Различные этапы эксплуатации дренажных скважин указывают на наличие общей зависимости, анализ которой позволяет установить оптимальные сроки службы. Такой общей зависимостью является экономическая, обусловленная прогрессирующим ростом дополнительных затрат и потерь прибыли от вложенных капитальных средств и эксплуатационных расходов потребителя на единицу работы по мере старения скважины. Прогрессирующие затраты и потери эксплуатационной организации по мере увеличения срока службы скважин вызываются усложнением технологического содержания технического обслуживания и ремонта, последовательным сокращением межремонтной наработки, прогрессирующим ростом эксплуатационных затрат

или потерь при тех же размерах эксплуатационных затрат, или комплексным воздействием ряда таких же причин.

Суммарные затраты и потери потребителя эксплуатирующей организации, связанные с использованием дренажной скважины, выражаются зависимостью [2, 3].

$$Y = Y_1 + Y_n + Y_m = A + B \cdot t + Ct^\delta. \quad (1)$$

Здесь A — стоимость строительства скважины;

B — коэффициент, учитывающий относительную величину затрат и потерь на содержание дренажной скважины, связанных с её обслуживанием, хранением, использованием затраченных средств;

C — постоянный для данного объекта коэффициент, определяющий исходную норму прогрессирующих затрат и потерь эксплуатирующей организации;

δ — показатель степени роста затрат и потерь по мере старения объекта;

t — год эксплуатации дренажной скважины.

Эта функция называется функцией суммарных затрат и потерь потребителя.

Принимая на себя все затраты, связанные с приобретением (строительством) и эксплуатацией скважины, а также потери от использования дополнительно вложенных средств на эти цели, потребитель получает работу, которую выполняет вертикальный дренаж: откачка запланированного количества воды в комплексе системы мелиоративных мероприятий, обеспечение необходимого урожая сельскохозяйственных культур.

Для определения прогрессирующих затрат и потерь во время эксплуатации объекта наиболее удобной и универсальной из математических зависимостей является степенная функция вида

$$Y_m = Ct^\delta. \quad (2)$$

Удобство её заключается в том, что построенная в логарифмической сетке она даёт прямую, обеспечивающую быстрый контроль результатов определения, а универсальность — в том, что при надлежащем подборе значений C и δ линии, удовлетворяющие уравнению $Y_m = Ct^\delta$, могут вырезать все разнообразные, практически встречающиеся случаи изменения прогрессирующих затрат и потерь,

которые несет эксплуатирующая организация, использующая стареющие дренажные скважины и их отдельные конструктивные и неконструктивные элементы.

Если разделить суммарные затраты (I) на всю выполненную работу вертикальным дренажем, выраженную через время t работы, то получим удельные затраты и потери, отнесенные на единицу сделанной работы

$$V = \frac{A}{t} + B + Ct^{\delta-1}, \quad (3)$$

которая называется функцией удельных затрат и потерь. Приравняв к нулю производную и решая относительно t , получим выражение

$$t = \sqrt[3]{\frac{A}{(\delta-1) \cdot C}}, \quad (4)$$

по которому можно определить оптимальный срок службы скважины или другого объекта.

В общем виде данное уравнение является аналитическим решением задачи определения оптимального срока службы скважины. Из выражения (4) следует, что он определяется из соотношения первоначальных капитальных затрат на строительство скважины, постоянного коэффициента, учитывающего затраты и потери эксплуатационной организации на поддержание работоспособности скважины, и показателя δ , определяющего интенсивность прогрессирующего роста этих затрат и потерь по мере старения скважины. Данная зависимость показывает, что по мере старения эксплуатации скважины и использование дополнительно вложенных технологических средств для восстановления её работоспособности, становятся невыгодными, т.е. наступает предел рационального срока применения дренажных скважин.

С увеличением срока службы скважины составляющие удельные затраты ($\frac{A}{t}$) уменьшаются, в то время как другая составляющая ($C \cdot t^{\delta-1}$) удельных затрат и потерь, также зависящая от времени эксплуатации скважины, постепенно увеличивается. Общее значение функции удельных затрат и потерь (V) в течение некоторого времени срока эксплуатации скважины снижается под более существен-

ным влиянием первой составляющей ($\frac{A}{t}$). Это продолжается до тех пор, пока будет слабо проявляться вторая составляющая удельных затрат и потерь. Эксплуатирующая организация должна стремиться к возможно большому сроку службы скважины при наименьших удельных затратах и потерях. Как только нарастание второй составляющей ($C \cdot t^{f-1}$) удельных затрат и потерь превысит снижение первой составляющей, т.е. как только удельные затраты и потери на единицу выполненной работы станут минимальными, скважины достигнут оптимального срока службы.

С течением времени эксплуатационные показатели (дебит и удельный дебит) скважин вертикального дренажа в реальных условиях работы понижаются. В первые годы эксплуатации (обычно до 3-5 лет) скважины обеспечивают запланированный (проектный) объем откачки. В дальнейшем для поддержания первоначальных эксплуатационных показателей дренажных скважин потребуются дополнительные ремонтно-восстановительные мероприятия. Причем с течением времени они увеличиваются, в результате чего эксплуатировать данную скважину экономически невыгодно.

Многолетние исследования работы крупных систем вертикального дренажа, расположенных в различных природно-хозяйственных условиях Узбекистана, показывают, что уже через 5 лет после ввода в эксплуатацию дренажных скважин требуются восстановительные мероприятия, в первую очередь очистка от механической кольятации водоприёмной части и прифилтровой зоны эрлифтной установкой. В последующие годы эксплуатационные показатели снижаются не только из-за механической кольятации, но и физико-химического и коррозийного разрушения водоприёмной части.

Для восстановления нормальной работоспособности скважин требуются более сложные в технологическом отношении ремонтно-восстановительные работы (реагентная обработка, очистка водоприёмной части механическими ершами, пневмовзрывные методы восстановления и т.д.), которые связаны с большими материально-техническими ресурсами, чем предыдущие.

С течением времени процесс естественного старения скважин ускоряется, резкое снижение производительности наблюдается после восстановительных капитальных работ не через 5-6 лет, как в начальный период эксплуатации, а через 2-3 года и меньше. Кроме того, невозможно добиться первоначального и удельного дебита. В результате затраты на ремонтно-восстановительные работы стано-

вятся экономически нецелесообразными. Для определения невыгодности дальнейшей эксплуатации дренажной скважины мы воспользуемся статистическими и экспериментальными данными, которые устанавливают закономерность возрастания суммарных затрат и потерь при эксплуатации.

Восстановительные работы на скважинах следует проводить при снижении производительности до $0,7 Q_{нач}$. Такое снижение дебита в зависимости от природно-хозяйственных условий наблюдается в среднем через 4–6 лет после ввода скважины в эксплуатацию.

После ремонтных работ производительность дренажной скважины, по данным наших исследований, восстанавливается в среднем на 90–95% от предыдущего показателя. На основе данных многолетних исследований можно утверждать, что производительность скважин после 15-летней эксплуатации снижается в среднем до 30–50% от первоначального показателя. Для определения оптимального срока службы скважин по уравнению (4) обратимся к вспомогательным графикам (рис. 1) возможных вариантов оценки прогрессирующих затрат и потерь по времени использования объектов. Для построения графика прогрессирующих затрат на техобслуживание и капремонт скважин вертикального дренажа воспользуемся данными опытов (табл. I). В логарифмической шкале построим график $Y_m = C \cdot t^b$.

При сопоставлении кривых опытных данных (рис. 2) с вспомогательными графиками находим кривые (возможно, более близкие по кривизне к построенному графику возрастающих потерь), характеристические параметры которых заранее известны. В данном случае для графика рис. 2 можно подобрать по графику значение $b = 3,0$; $C = 2,0$. Подставляя искомые значения в формулу (4), определим приближенные оптимального срока службы скважин, принимая среднюю балансовую стоимость 30 тыс. руб.

$$t_{опт} = \sqrt[3]{\frac{A}{(b-1) \cdot C}} = \sqrt[3]{\frac{30000}{(3-1) \cdot 2}} = 19,57 \text{ лет.} \quad (5)$$

Приближенный срок службы дренажных скважин можно определить по графику (2) $Y_m = C \cdot t^b$. Для этого от оси ординат $\lg Y$, зная первоначальную стоимость объекта (A), проведем параллельную линию оси абсцисс до пересечения кривой $Y_m = C \cdot t^b$. От точки пересечения с кривой проведем линию параллельно оси ординат до пересечения с осью абсцисс. Эта точка даёт приближенный срок службы скважин, в данном случае она равна

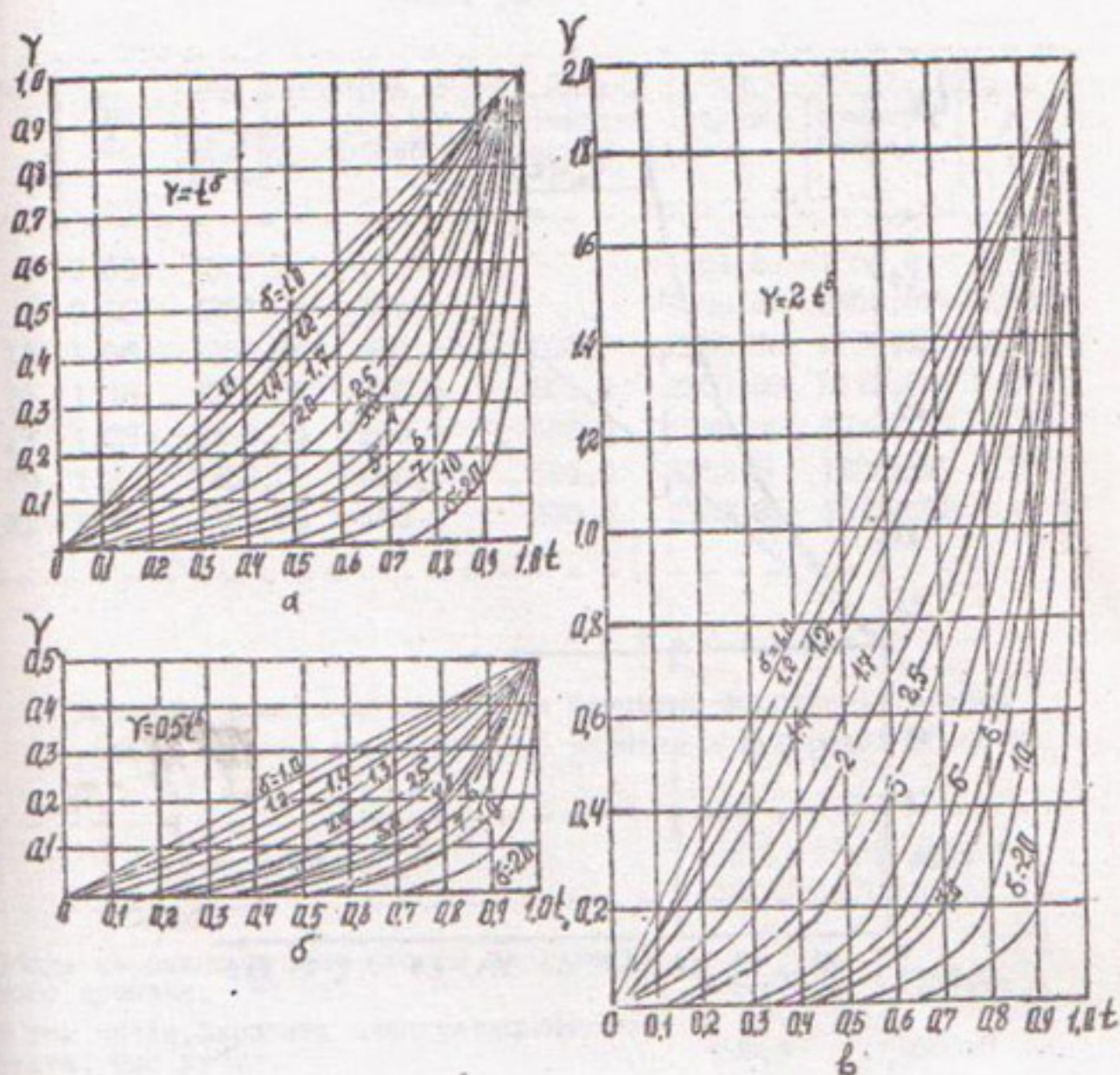


Рис. I. Вспомогательные графики к оценке степени прогрессирующих затрат и потерь при определении оптимальных сроков службы машин:

а - при $C = 1$; б - при $C = 0,5$; в - при $C = 2$.

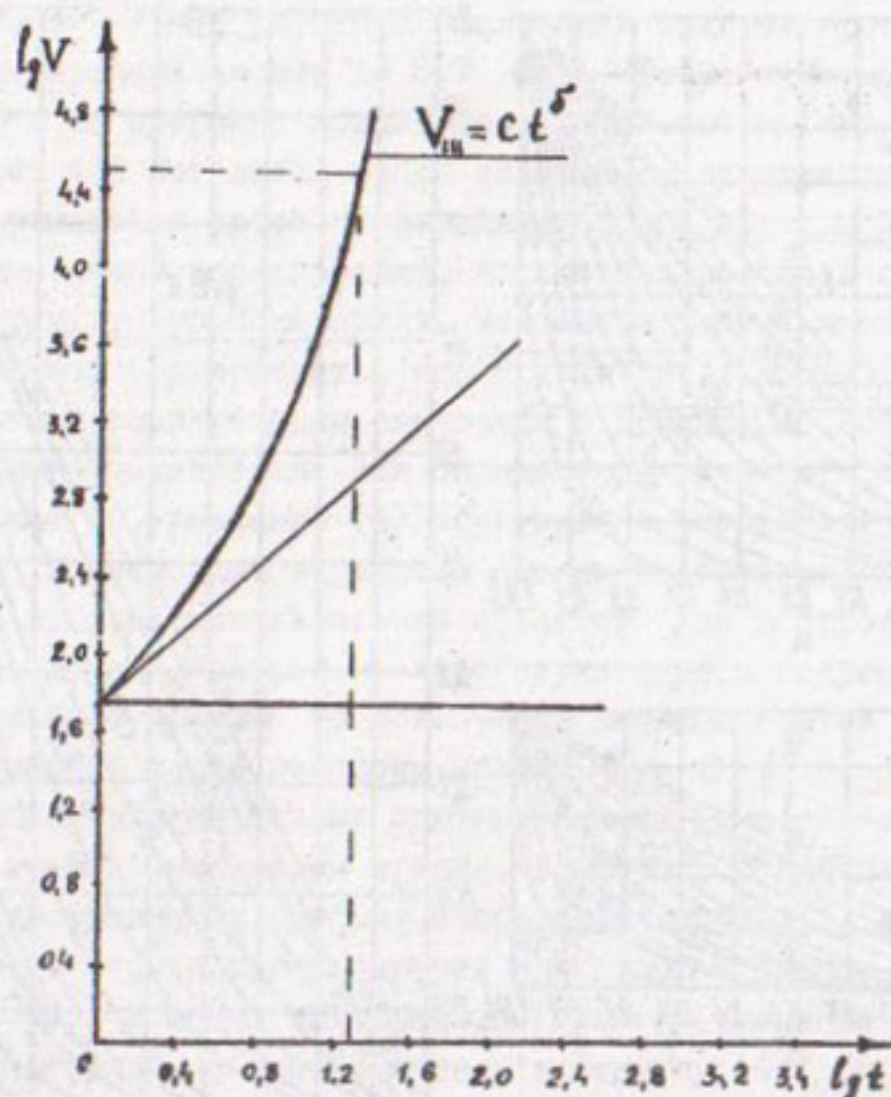


Рис. 2. График для приближенного определения оптимальных сроков службы скважин по экспериментальным данным.

Т а б л и ц а 1

Затраты на восстановление работоспособности скважин
вертикального дренажа (экспериментальные данные, в
ценах 1985 г.)

Год	lg	Вид ремонтных работ, руб.			Всего затрат, руб.		lg
		эрлифт- ная про- качка	реагентная обработка	очистка ершом	единич- ные	суммар- ные	
5	0,69	1551,2	-		1551,2	1551,2	3,19
9	0,95	1353,85	500,0		1853,85	3405,07	3,53
12	1,08	1353,85	500,0	500,0	2353,85	5758,92	3,76
15	1,18	1353,85	500,0	500,0	2353,85	8112,85	3,91
17	1,23	1353,85	500,0	500,0	2352,85	10466,62	4,02
19	1,28	1353,85	500,0	500,0	2352,85	12820,47	4,10
21	1,32	1353,85	500,0	500,0	2353,85	15174,32	4,18

Т а б л и ц а 2

Динамика изменений затрат на ремонтно-восстановительные
работы скважин вертикального дренажа в Бухарской области

Статья затрат	1982 г.	1991 г.
Общие на эксплуатацию систем вертикаль- ного дренажа, тыс руб.	1352,32	4068,2
В том числе, зарплата эксплуатационного штата, тыс руб.	198,4	680,8
Текущий ремонт, тыс руб.	147,2	420,0
Капитальный ремонт, тыс руб.	541,0	2240,0
Затраты на электроэнергию, тыс руб.	270,0	972,14
Транспортные расходы, тыс руб.	128,6	378,8
Прочие расходы, тыс руб.	47,1	200,26
Количество скважин, шт.	663,0	1048,0
Затраты, приходящиеся на эксплуатацию одной скважины, руб.	2039,6	3881,8
Затраты на техобслуживание, капремонт одной скважины, руб.	1038,0	2538,2

$$\lg t = 1,28; \quad t = 10^{1,28} = 19,05 \text{ лет.}$$

На практике часто признаки прогрессирующих затрат и потерь проявляются незаметно, статистические данные противоречивы, одновременно могут проявляться несколько признаков, каждый из которых ведёт к различной интенсивности роста затрат и потерь. При внимательном изучении фактических затрат за ряд лет на техническом обслуживании и капремонт скважин вертикального дренажа прослеживается рост затрат и потерь эксплуатационной организации в связи со старением объекта. В табл. 2 приводятся данные изменений прогрессирующих затрат по системе вертикального дренажа в Бухарской области, характеризующие возрастание затрат на техническое обслуживание и капремонт по мере старения объекта. Указывая на прогрессирующие затраты и потери при эксплуатации скважин вертикального дренажа по мере их старения, можно практически не иметь дела непосредственно с самими затратами и потерями. В этих случаях определения минимума функции при оптимальном сроке службы безразлично, что прогрессирует – затраты и потери или другие элементы и признаки, влияющие на эти затраты и потери. При функции этого вида получаем один и тот же минимум, один и тот же оптимальный срок.

Таким образом, установление экономически целесообразного срока службы вертикального дренажа является определяющим фактором при назначении периодичности ремонтно-восстановительных мероприятий системы технического обслуживания и ремонта в рыночных условиях хозяйствования.

Список использованной литературы

1. Положение о проведении планово-предупредительного ремонта гидромелиоративных систем и сооружений. М.: Минродхоз СССР, 1989.
2. Мирцхулава Е. Ц. Надежность гидромелиоративных сооружений. М.: Колос, 1974.
3. Селиванов А. И. Основы теории старения машин. М.: Машиностроение, 1971.

УДК 626.844:633.51

А.В.Новикова, О.М.Мурадова

КАПЕЛЬНОЕ ОРОШЕНИЕ ХЛОПЧАТНИКА

В условиях нарастающего дефицита водных ресурсов, ухудшения климатических условий в связи с усыханием Арала, усиления антропогенного воздействия на природу важную роль играет внедрение водосберегающих технологий орошения.

Один из способов, обеспечивающих рациональное использование воды – капельное орошение. Основные преимущества его – возможность поддержания оптимальных водного и воздушного режимов в активном корнеобитаемом слое почвы, в результате чего увеличивается урожайность сельскохозяйственных культур. Снижение испарения с поверхности почвы и отсутствие поверхностного стока позволяют экономить оросительную воду, удобрения, гербициды.

В Узбекистане промышленное внедрение систем капельного орошения (СКО) первоначально в садах и на виноградниках начато в 1987 г., когда была создана производственная база для выпуска полиэтиленовых элементов СКО.

Острый дефицит водных ресурсов в республике обусловил необходимость распространения капельного орошения и на пропашных культурах, в том числе хлопчатнике.

Институтом "Узгипроводхоз" с 1992 г. проводятся научные исследования, цель которых – разработка элементов техники и технологии полива, режима орошения, технологии выращивания хлопчатника с использованием указанного способа, а также исследование динамики мелиоративного состояния опытно-производственного участка (ОПУ) при капельном орошении. ОПУ расположен на землях Каршинского экспериментального учебно-производственного ремонтно-эксплуатационного предприятия (КЭУПРЭП) Ниязского района Кашкадарьинской области. В результате четырехлетнего комплекса работ выявлена достаточно высокая эффективность применения СКО для полива хлопчатника в почвенно-климатических условиях Кашкадарьинской области.

Опытно-производственный участок относится к зоне южных полупустынь, почвы серо-буролуговые, наблюдается пестрая картина в процентном содержании гипса, в связи с чем хлопчатник имеет раз-

личные показатели в росте и развитии. В целом почвы среднегипсованные, средnezасоленные и бедны питательными элементами, по механическому составу представлены супесями, характеризуются высокой водопроницаемостью. Грунтовые воды со слабой минерализацией. Их уровень колеблется от 0,12 до 2,75 м, наивысшее положение отмечается во время вегетационных поливов, более глубокое залегание – в невегетационный период. Источник орошения земель ОПУ – Талимарджанское водохранилище или воды р. Амударьи.

При строительстве СКО в 1992 г. применялись пластинчатые фильтры тонкой очистки воды, а в 1993–1995 гг. – фильтровая станция НПО САНИИРИ, включающая песчаные и сетчатые фильтры, а также гидроподкормщик. Перед поступлением в систему поливная вода подавалась в бетонированный отстойник, откуда после отстаивания поступала через фильтровую станцию в поливную сеть при помощи насоса марки К 45/30. Поливная сеть представляет собой систему распределительных, участковых и поливных трубопроводов, оборудованных задвижками, что позволяет поливать ОПУ согласно схеме опыта по повторностям. Распределительный и участковый трубопроводы выполнены из полиэтиленовых гофрированных труб диаметром 110 и 63 мм соответственно. Поливные трубопроводы диаметром 20 мм представляют собой гибкие шланги типа "Агродрип" и "Вариодрип" со встроенными капельными водовыпусками через 0,9 м, заканчивающиеся заглушками. Соединения поливных трубопроводов к участковым выполнены при помощи резиновых муфт и ниппелей. Поливные трубопроводы укладываются через междурядия, т.е. через 1,8 м.

Все исследования проводились для двух вариантов опыта: капельное орошение и бороздковый полив с последующим сравнением полученных параметров и результатов. Разработан режим орошения хлопчатника, проведены наблюдения за динамикой влажности в полосе увлажнения при капельном способе и поливе по бороздам, по полученным данным построены контуры увлажнения (рис. 1, 2). Расстояние между поливными трубопроводами (1,8 м), а также между капельными водовыпусками (0,9 м) обеспечивает равномерное увлажнение как вдоль борозды, так и в радиальном направлении. Очевидно преимущество капельного орошения по сравнению с поливом по бороздам.

При капельном орошении поливная вода вносится небольшими дозами в течение определенного времени (начало и конец полива устанавливаются исходя из влажности почвы: начало полива – при до-

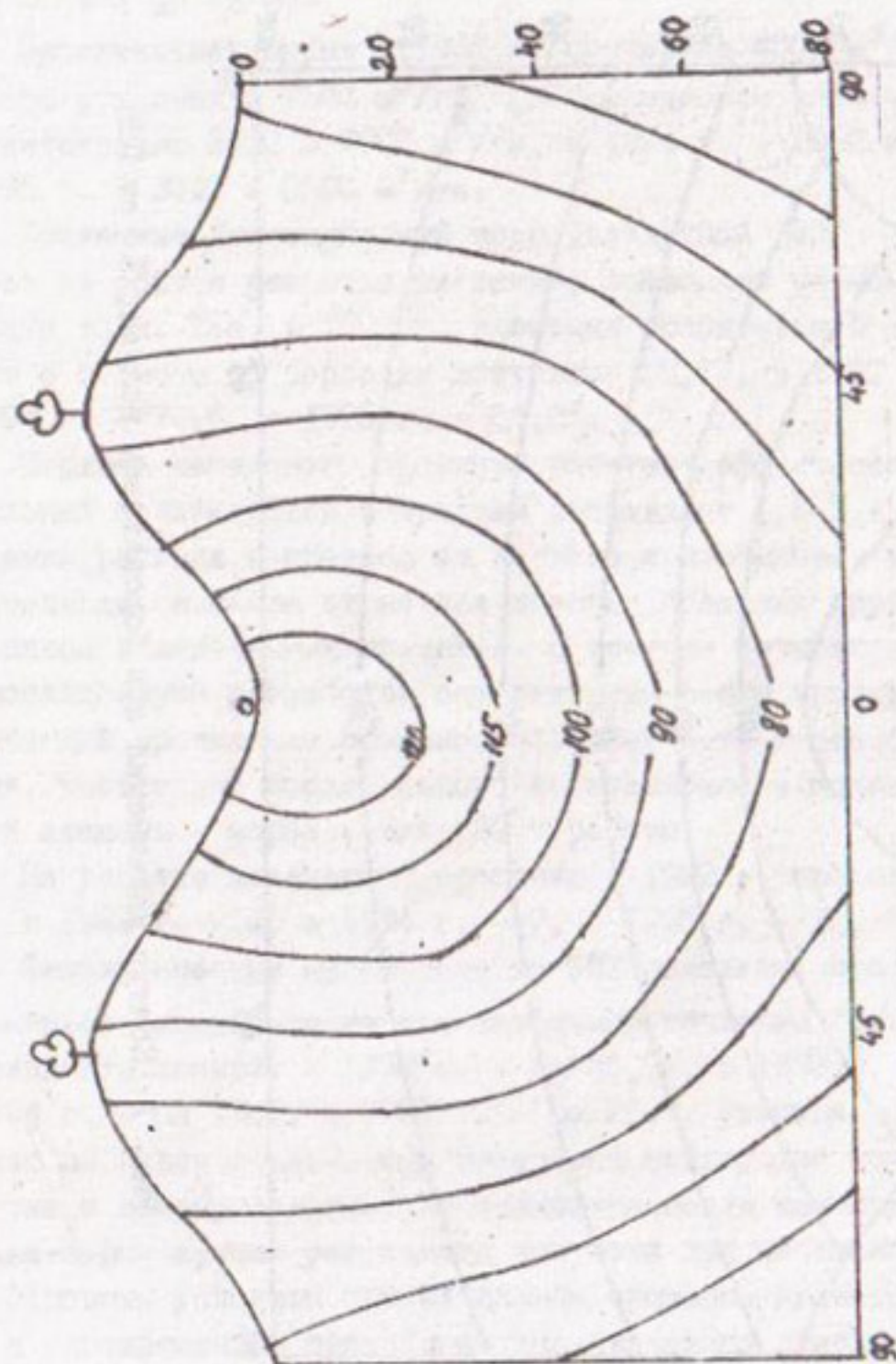


Рис. 1. Контур увлажнения при капельном орошении, % от ППВ.

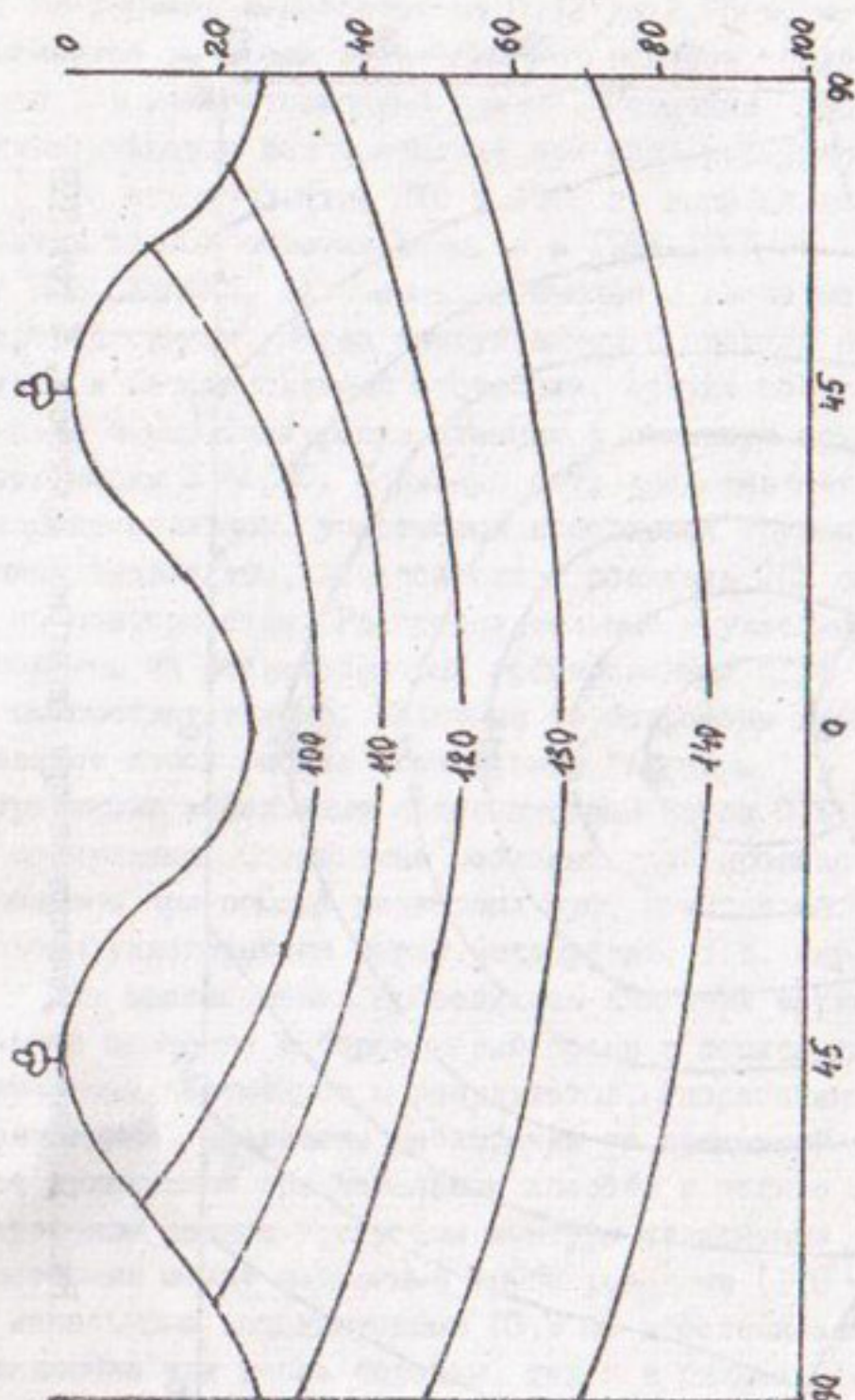


Рис. 2. Контур увлажнения при бороздковом поливе, % от ППВ.

стижении влажности почвы 70% от ППВ, окончание – 90% от ППВ). Поливные нормы колеблются от 180 до 300 м³/га; продолжительность полива в среднем от 6 до 29 ч в зависимости от работы насосного оборудования и одновременно поливаемой площади; межполивной период – от 4 до 12 сут.

Оросительная норма в 1992 г. составила 4000 м³/га при капельном орошении и 7500 м³/га при бороздковом поливе, в 1993 г. – соответственно 3400 и 7900 м³/га, в 1994 г. – 2062 и 9300 м³/га, в 1995 г. – 3040 и 8500 м³/га.

Созданный благоприятный воцно-воздушный режим положительно влияет на рост и развитие растений, позволяет экономить оросительную воду. Так, в 1992 г. экономия оросительной воды по сравнению с поливом по бороздам составила 56,6%, в 1993 г. – 56,9, в 1994 г. – 77,6, в 1995 г. – 64,2%.

Система капельного орошения работает эффективно, расход капельных водовыпусков в среднем составляет 4,6–5,4 л/ч, процент снижения расхода в среднем от первого к последнему вегетационным поливам, а также от начала к концу поливных трубопроводов находится в допустимых пределах. В течение четырехлетнего периода исследований разработан определенный режим эксплуатации СКО, включающий проведение промывок поливной сети через определенное время, желательно после каждого вегетационного полива, а фильтровой станции – через каждые 20 ч работы.

На участке капельного орошения в 1992 г. проведено 6 поливов, в 1993 г. – 4, в 1994 г. – 7, в 1995 г. – 12.

Фенологические наблюдения на ОПУ показали, что фактическая урожайность хлопка-сырца при капельном орошении больше, чем при бороздковом поливе: в 1992 г. – на 16,5%, в 1993 г. – на 47,6, в 1994 г. – на 13,0, в 1995 г. – на 26,7. Разница в прибавке урожая по годам объясняется пестротой плодородия почв опытного участка и метеоусловиями. По технологическим качествам волокна хлопка-сырца лучшие результаты получены при капельном орошении.

Основным условием при капельном орошении является правильное и своевременное проведение определенного комплекса агротехнических мероприятий.

Кроме указанного комплекса работ, на ОПУ ежегодно проводятся наблюдения за динамикой мелиоративного состояния почвенного покрова земель. Исследования динамики солевого состояния покровной метровой толщ почвыгрунтов ОПУ за 1992–1995 гг. свидетельствуют

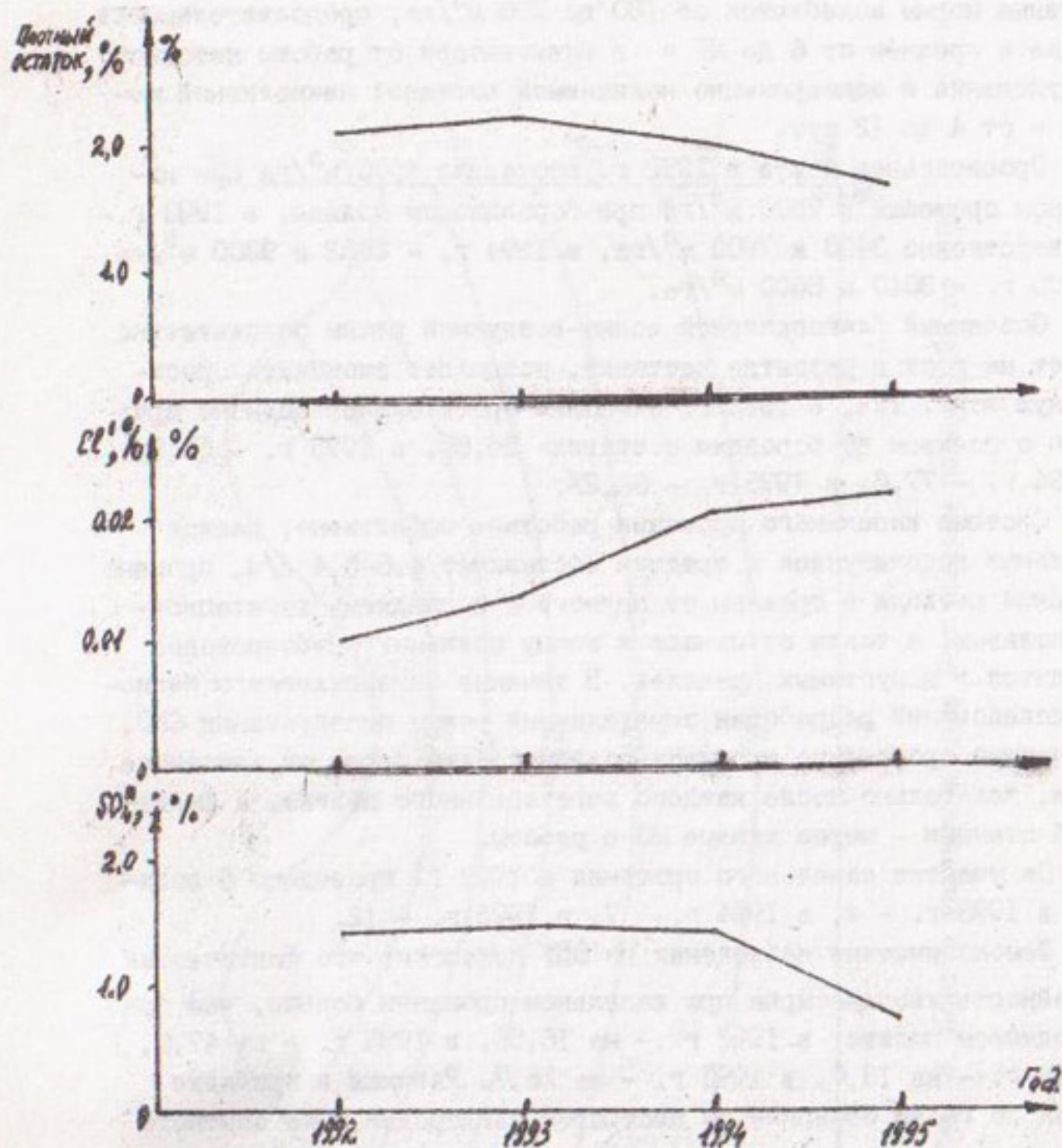


Рис. 3. Динамика солезапасов в среднем по профилю разреза в метровой толще за период исследований (1992-1995 гг.).

о достаточно благоприятной мелиоративной обстановке: в среднем содержание ионов хлора увеличилось до 0,0104% в 1992 г. и до 0,022% в 1995 г., содержание сульфатов уменьшилось с 1,402% в 1992 г. до 0,745% в 1995 г., по плотному остатку солезапасы после небольшого увеличения (с 2,130% в 1992 г. до 2,238% в 1993 г.) снизились до 1,169% по данным исследований 1995 г. (рис. 3).

Таким образом, полученные данные подтверждают положительное влияние капельного орошения на рост и развитие хлопчатника как сорта „Ю8-Ф“, так и сорта „Юлдуз“ (исследования 1994 г.).

УДК 626.844

Б.Г.Малаев, Э.Б.Малаев

КОНТУР УВЛАЖНЕНИЯ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

При расчете и проектировании систем капельного орошения правильное определение контура увлажнения почвы позволяет установить расстояние как между капельницами (шаг капельниц), так и поливными трубопроводами. Исследования данного вопроса в основном экспериментального характера, так как размеры зоны промачивания почвы зависят прежде всего от физико-механических и водно-физических свойств грунтов.

С.Иванов, П.Петков [1] (Болгарский институт гидротехники и мелиорации) установили, что диаметр зоны (см) увлажнения может изменяться от 80 для песчаных грунтов до 200 – песчано-глинистых, 260 – глинистых и 320 – тяжелых глинистых. С увеличением расстояния между капельницами уменьшается расстояние между поливными трубопроводами и наоборот. При исследовании капельниц Агро-Дрип ($q = 2$ л/ч) на поливных трубопроводах $d = 10-16$ мм они установили, что при шаге капельниц 30 и 60 см расстояние между поливными трубопроводами на песчаных грунтах может приниматься 75 и 55 см, при 30, 90 и 120 см на песчано-глинистых грунтах – соответственно 200, 180 и 160 см, а на глинистых грунтах 260, 240 и 230 см для тех же расстояний.

Специалисты Израильского института почвоведения и водного хозяйства в Бет-Дегене на основании исследований капельниц фирмы Нетафим $q = 4$ и 3 л/ч на поливе хлопчатника считают, что расстояние между капельницами может быть принято 1,0 и 1,25 м на песчано-глинистых грунтах [2, 3].

Мексиканским национальным центром [4] техники полива рекомендуется принять расстояние между поливными трубопроводами 1,2 и 2,0 м при шаге капельниц 0,5 и 0,4 м, расходе воды 2 л/ч.

Г.Ю.Шейкин [5] отмечает, что оптимальное расстояние между отверстиями увлажнительных трубопроводов, обеспечивающее равномерное увлажнение почвы в системах внутрпочвенного орошения, должно составлять 120–150 см.

М.П.Чухтаров, Б.А.Келесбаев [6] при изучении внутрпочвенного орошения хлопчатника в Голодной степи установили, что расстояние между отверстиями труб-увлажнителей может быть принято 140 см. Расчет контуров увлажнения почвы при внутрпочвенном орошении рассматривается В.Г.Насоновым, Г.Н.Становым [7].

Американские исследователи Т.А.Ховелл, Д.С.Стивенсон [8] и др. в результате многократных наблюдений и измерений контура увлажнения почвы в зоне расположения капельниц пришли к выводу, что при равномерной пространственной фильтрации конфигурацию увлажняемой среды можно уподобить полусфере соответствующего объема. Объем полусферы зависит от способности почвы увлажняться. На основе этих данных предлагается следующая формула для определения объема увлажнения почвы:

$$q \cdot t = \frac{2}{3} \pi (\theta_f - \theta_i) R^3 \quad (I)$$

или

$$R = \left[\frac{3qt}{2\pi (\theta_f - \theta_i)} \right]^{1/3}, \quad (I')$$

где R – радиус полусферы, см
 q – расход капельницы, л/г
 t – время (продолжительность) работы капельницы, ч
 θ_i – исходная (начальная) влажность почвы,
 θ_f – конечная влажность почвы.

Конечная влажность почвы θ_f может быть задана, например, равной величине предельной полевой влагоемкости (ППВ), а начальная θ_i – выражена в долях ППВ.

Оценим радиус полусферы, пользуясь формулой (I') применительно к почвам опытного участка капельного орошения в Бухарской области, представленным легкими суглинками с содержанием частиц 0,01 мм – 21% и 0,05–0,1 мм – 44%. Тогда для ППВ = θ_f =

$= 0,151$, принимая $\theta_i = 0,7$ ППВ $= 0,106$, получим следующее выражение по определению радиуса очага увлажнения:

$$R = 2,18 \sqrt[3]{qt}. \quad (I'')$$

Вычисление R по формуле (I'') и сравнение результатов с измеренными в наших опытах значениями радиуса очага увлажнения $R_{\text{изм.}}$ приведены в таблице. Опыты по капельному орошению проводились в 4 вариантах на хлопковом поле с междурядьем 60 см. Варианты отличались схемой расположения труб-увлажнителей (в каждом ряду и через ряд) и шагом капельных водовыпусков (60 и 100 см). Вычисленные значения радиуса контура увлажнения больше измеренных в опытах (таблица). В отдельных случаях отклонения составляют 70–90%. По нашему мнению, причиной расхождения вычисленных и измеренных в опытах значений радиуса контура увлажнения является недостаточно полный учет в формуле (I) физико-механических и водно-физических свойств почвы. Пользуясь данными опытных измерений, введём в формулу (I) соответствующую поправку, учитывающую порозность почвогрунтов опытного участка.

Сопоставление вычисленных $R_{\text{расч.}}$ и измеренных $R_{\text{изм.}}$ значений радиуса контура увлажнения почвы представлено на рисунке. Через точки проведена прямая, $\text{tg} \alpha$ которой характеризует отклонение вычисленных и измеренных в опытах значений R . Из графика имеем

$$\text{tg} \alpha = \frac{R_{\text{изм.}}}{R_{\text{расч.}}} = 0,71$$

или

$$R_{\text{изм.}} = \text{tg} \alpha \cdot R_{\text{расч.}}$$

Примем $\text{tg} \alpha = KP$, где P – уплотненность почвы, представляющая собой соотношение объемной и удельной масс; K – некоторый коэффициент.

Уплотненность почвогрунтов опытного участка характеризуется величиной

$$P = \frac{\rho}{\rho_s} = \frac{1,4}{2,86} = 0,49.$$

Тогда $K = 1,45$, и следовательно, $\text{tg} \alpha = 1,45 P$.

В итоге имеем

$$R_{\text{изм.}} = 1,45 P \cdot R_{\text{расч.}} = 1,45 P \left[\frac{3qt}{2\pi(\theta_s - \theta_i)} \right]^{1/3}. \quad (2)$$

Измеренные и расчетные значения радиуса контура увлажнения почвы

148

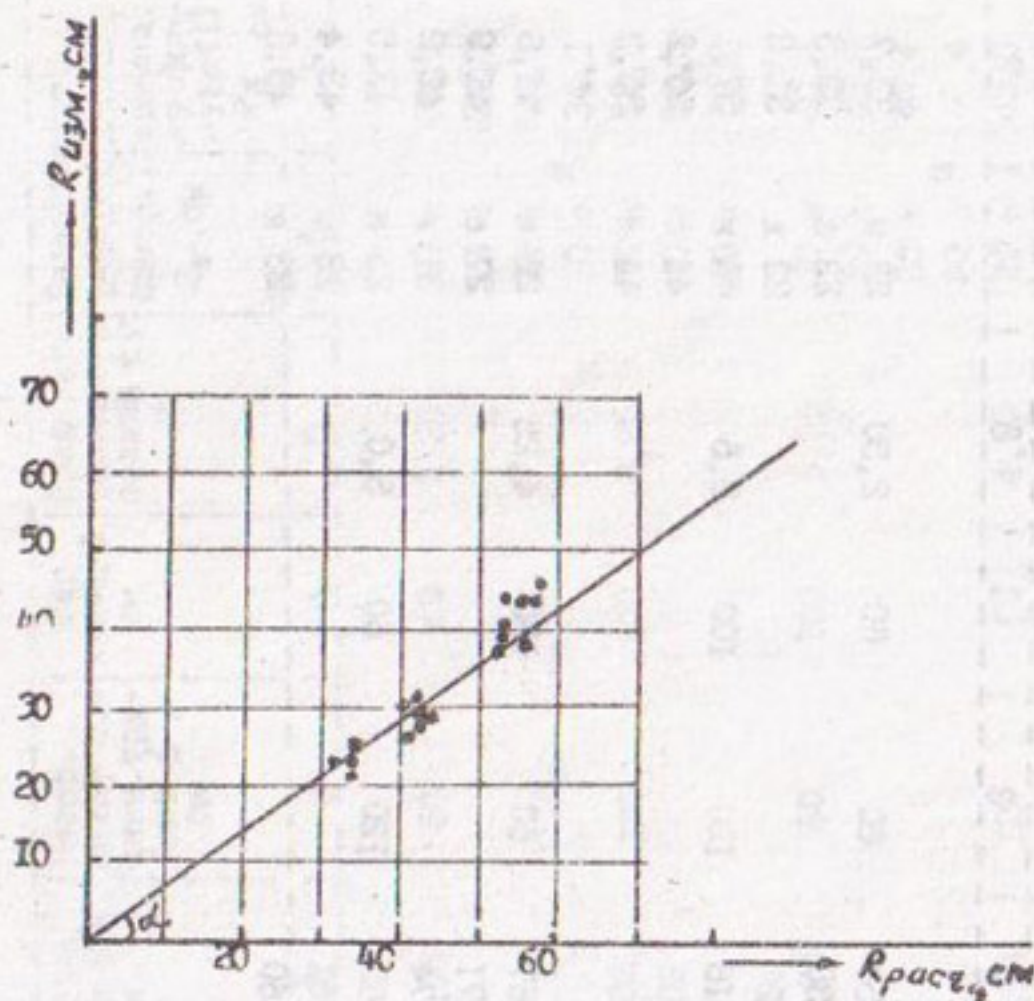
Дата измерения и вариант	Расход кап-ц q , л/ч	Расст. между полив. трубами l , см	Шаг кап-ц z , см	Продолжительность полива t , ч	Радиус конт. увлажнения, измер.		Вычисл. по формуле (1) R_b , см	Отклонен. $\frac{R_u - R_b}{R_u} \%$	Значение по формуле (2), см		Отклонение от измерен., %
					R_u , см	R_b , см			8	9	
04.08.93											
В-2	1,74	60	60	2,25	23 н	34,1		-48,3	24,2	-5,2	
					23 с	34,1		-48,3	24,2	-5,2	
					25 н *	34,1		-36,4	24,2	+3,2	
					20 с	34,1		-70,5	24,2	-21,0	
					44 н	52,5		-19,3	37,3	+15,2	
В-5	1,74	120	100	8,25	40 с	52,5		-31,2	37,3	+6,7	
					39 к	52,5		-34,6	37,3	+4,3	
					05.08.93						
В-3	1,74	60	100	3,75	30 н	40,4		-34,7	28,7	+4,5	
					29 с	40,4		-39,3	28,7	+1,0	
					25 к *	40,4		-61,6	28,7	-14,8	
					30 н *	40,4		-34,7	28,7	+4,3	
					26 н	43,0		-65,4	30,5	-17,3	
В-4	1,74	120	60	4,50	25 с	43,0		-72,0	30,5	-22,0	
					30 к	43,0		-43,3	30,5	-1,7	

* Измерены в соседних междурядьях; н - начало, с - середина, к - конец поливного трубопровода.

Продолж. табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23.08.94									
B-2	1,50	60	60	2,50	23 н	33,7	-46,5	23,9	-3,9
	1,38				23 с	32,6	-42,6	23,3	-1,3
	1,26				23 к	31,8	-38,3	22,6	+1,7
B-5	2,18	120	100	8,5	46 н	57,1	-24,1	40,5	+12,0
	2,08				44 с	56,2	-27,7	39,9	+9,3
	1,98				44 к	55,3	-25,7	39,3	+10,7
23.08.94									
B-3	1,67	60	100	4,25	26 н	41,6	-60,0	29,5	-13,5
	1,71				27 с	41,9	-55,2	29,7	-10,0
	1,74				31 к	42,2	-36,1	30,0	+3,2
B-4	1,62	120	60	5,0	25 н	43,5	-74,0	30,9	-23,6
	1,61				28 с	43,4	-55,0	30,8	-10,0
	1,60				23 к	43,3	-88,3	30,7	-33,5

Поправка к формуле (1) дана в первом приближении, так как объём исследований не позволяет более точно описать линию, проходящую через опытные точки. Возможно, эта линия является параболой. Уточнение характера кривой на графике составит задачу дальнейших исследований. Вместе с тем полученные результаты на данном этапе работ считаем удовлетворительными, так как значения R , подсчитанные по формуле (2), в большинстве случаев дают близкое совпадение с фактически наблюдаемыми в полевых опытах.



Расчетные и измеренные значения радиуса увлажнения

Список использованной литературы

1. И в а н о в С., П е т к о в П. Перспективы капельного орошения овощных в Болгарии. Капково напояване. Градинарство, 1979.
2. Влияние режимов капельного орошения на урожай хлопчатника. Cotton response to trickler irrigation regimes in the Hule Valley of Israel (1974-1978). ASAE. St. Joseph Mich., 1980.
3. Капельное орошение хлопчатника. Consumptive water requirement of trickler irrigated cotton. Water use and plant response. - ASAE St. Joseph Mich., 1980.
4. Изучение эффективности капельного орошения. Quanto y regaren riego por goteo. - Centro National Methods. Avanzados de Riego, 1966.
5. Ш е й н к и н Г. Д., Г о р д е е в В. Д. и др. Опыт внутрипочвенного орошения "Хлопководство", 1973, № 8.
6. М у х т а р о в М. П., К е л е с б а е в Б. А. Определение межузлажнительного расстояния при расчете сети ВПО. Сб. научных трудов САНИИРИ, вып. 156, 1978.
7. Н а с о н о в В. Г., С т а н о в о в Г. Н. Расчет контуров увлажнения при внутрипочвенном орошении". Сб. научных трудов САНИИРИ, вып. 156, 1978.
8. Howell T.A., Stevenson D.S. et al. Design and operation of trickle (drip) systems // Design and operation of farm irrigation systems. 1982. New York.

УДК 626.844:634.11/12

М.М.Мирзаев, А.В.Новикова,

А.Г.Пулатов

МИКРООРОШЕНИЕ ЯБЛОНЕВОГО САДА

В условиях орошаемого земледелия важным фактором увеличения урожайности сельскохозяйственных культур и экономии водных и других ресурсов является совершенствование способов и техники полива.

Один из прогрессивных способов полива, особенно для садов - микроорошение, включающее и капельное орошение, которое в настоящее время широко распространено как за рубежом, так и в нашей республике.

Плодовые (яблоня и груша) - культуры умеренного климата. Жаркий сухой климат Узбекистана с высокими летними температурами и обилием солнечного света в течение вегетационного периода вызывает большой дефицит влаги в почве и воздухе, что отрицательно влияет на рост и развитие растений.

При использовании традиционного бороздкового и современного капельного способов полива можно избежать активного влияния на микроклимат сада.

Почвы в садах нашей республики сильно истощены и требуют внесения больших доз органических и минеральных удобрений, что в нынешних условиях роста цен трудно осуществить. Эту проблему можно решить путём посева сидеральных культур в междурядьях сада, а также введением в культуру дерново-перегнойной системы, которая состоит в многолетнем залужении рыхло-кустовыми злаками с использованием скошенной зеленой массы на мульчу.

При бороздковом способе полива яблонь и трав затрачивается большое количество оросительной воды, а борозды, нарезанные в междурядьях, мешают проводить нормально укос и измельчение трав.

Для улучшения условий роста, развития и повышения урожайности яблонь, как показывают опыт зарубежных государств (США, Англия, Голландия и др.), можно успешно применять дождевальное орошение.

В некоторых странах используют так называемое освежительное дождевание с целью понижения температуры и повышения влажности воздуха. Такие поливы проводятся в самый жаркий период су-

ток (между 12 и 15 ч).

По рекомендации НИИ им. Р.Р.Шредера наиболее благоприятны для роста и плодоношения яблони влажность почвы 60–90% от полевой влагоёмкости (ППВ), температура воздуха 18–23 °С и относительная влажность воздуха 60–70%.

На ЦЭБ института проводятся комплексные исследования влияния системы микроорошения на рост, плодоношение деревьев и повышение почвенного плодородия на основе применения дерново-перегнойной системы. Система орошения смонтирована в яблосевом саду из полиэтиленовых труб разного диаметра. Вода в систему подаётся при помощи насоса марки К 20/30 из отстойника без использования фильтров тонкой очистки воды.

Магистральные и участковые трубопроводы уложены в землю на глубину 70 см. Каждый участковый трубопровод рассчитан на полив одного варианта и снабжен индивидуальной задвижкой, чтобы варьировать временем полива каждого варианта.

Опыт заложен по схеме:

I вариант – надкroновое дождевание, поливные трубопроводы выходят на поверхность земли в ряду между деревьями и по металлической стойке высотой 3 м подняты над кронами, на конце трубопроводов смонтированы короткоструйные насадки. Расход насадки 516 л/ч, радиус полива 4 м при давлении в сети 1,5 атм.

II вариант – мелкодисперсное надкroновое дождевание, поливные трубопроводы построены, как в I варианте, но расход воды при том же давлении в сети составил 192 л/ч, радиус полива 4 м; в данном случае использованы мелкодисперсные насадки.

III вариант – подкroновое дождевание, поливные трубопроводы поднимаются на высоту 40 см от поверхности земли в створе деревьев, на них смонтированы такие же насадки, как в I варианте.

IV вариант – капельное орошение, поливной трубопровод проходит на высоте 50 см вдоль ряда деревьев, у каждого дерева на расстоянии 50 см от штамба установлено по одной капельнице "Узгипроводхоз-2" расходом 8 л/ч.

Велись наблюдения за динамикой влажности почвы. По полученным данным построены контуры увлажнения. В результате определено, что на всех вариантах опыта распределение влаги в почве по параметрам находится на оптимальном уровне для поддержания необходимого водно-воздушного режима растений и трав.

На варианте надкronового дождевания проведено 14 поливов, общее время полива 18 ч, оросительная норма 2587 м³/га; экономия оросительной воды составила 19,0% по сравнению с контрольным вариантом опыта – полив по бороздам.

На варианте мелкодисперсного надкronового дождевания проведено 14 поливов, общее время полива 51 ч, оросительная норма 2750 м³/га; экономия оросительной воды составила 14% по сравнению с вариантом полива по бороздам.

На варианте подкronового дождевания проведено 14 поливов, общее время полива 18 ч, оросительная норма 2600 м³/га; экономия оросительной воды равна 18,7% по сравнению с вариантом полива по бороздам.

На варианте капельного орошения проведено 30 поливов, общее время полива 360 ч, оросительная норма 1224 м³/га; экономия оросительной воды составила 60% по сравнению с вариантом полива по бороздам.

На варианте полива по бороздам проведено 4 полива, общее время полива 288 ч, оросительная норма 3200 м³/га.

Влажность почвы на всех вариантах опыта 60–90% от ППВ (начало полива при водном режиме почвы 60% от ППВ, окончание полива при 90% от ППВ).

В отделе агротехники (Ж.Л. Джавакянц) впервые изучалось влияние микроорошения на почву в садах (дерново-перегнойная система). Предполагалось на основе этого разработать почвозащитную агротехнику, позволяющую предотвратить эрозию почвы, повысить её плодородие, увеличить урожайность и обеспечить высокие санитарно-гигиенические качества плодовой продукции.

При посеве трав в качестве основной культуры использовался райграс, для покрова которого применялись горчица, ячмень и суданская трава. Исследованиями установлено, что райграс в год посева слабо развивался. Из покровных культур мощным ростом и развитием отличалась суданская трава, на которой было проведено два укоса. Всего за два укоса в качестве мульчи было внесено в почву 210 ц/га суданской травы.

Зеленая масса ячменя составила 65–70 ц/га. При надкronовом орошении прирост побегов увеличился на 50–62% по сравнению с поливом по бороздам, на этих вариантах несколько улучшился их осенний рост. При подкronовом орошении к середине сентября 64% побегов уже закончили рост и сформировали верхушечную почку, тогда

как на контроле только 48% закончили рост.

В вариантах надкронового дождевания микроорошение способствовало развитию более оптимального соотношения вегетативной и репродуктивной древесины, что должно определить регулярность плодоношения в последующие годы. Обеспечено более благоприятный водный режим почвы в зоне максимального размещения питающих корней. Оказало определенное влияние на микроклимат сада, при этом температура воздуха понижалась на 3-5 °С, относительная влажность повышалась на 25-30%, а на вариантах надкронового дождевания происходил смыв пыли с листьев и кроны, что способствовало улучшению фотосинтеза, транспирации, понижению концентрации клеточного сока. Это положительно отразилось на росте и развитии растений.

В течение вегетации (по данным Н.Джамолединовой, лаборатории физиологии) концентрация клеточного сока понижалась в среднем на 2-3% по отношению к контролю, интенсивность транспирации повышалась в среднем на 16-17 г/м²/ч, что привело к увеличению листовой поверхности деревьев в среднем на 4-5 м² по сравнению с контролем.

Система микроорошения резко сокращает количество проводимых агромероприятий, таких как нарезка борозд для полива, культивация, пахота, борьба с сорняками, уменьшается уплотнение почвы, особенно при посеве трав в междурядьях, что даёт большую экономию ресурсов.

В лаборатории защиты растений (У.Набиев) изучалось влияние различных способов полива на зараженность яблоневого сада вредителями и болезнями. Установлено, что микроорошение снижает зараженность деревьев яблони плодовыми клещами, клопами в 2 - 6 раз, кружковой молью - в 2 - 3 раза.

Таким образом, получены предварительные результаты, подтверждающие эффективность использования системы микроорошения для полива яблоневого сада, а также покровных культур трав, выращиваемых в его междурядьях в конкретных почвенно-климатических условиях на примере Ташкентской области.

УДК 626.833

И. Ф. Беглов

РАСЧЕТ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ С УСТРОЙСТВОМ, СОЗДАЮЩИМ МОМЕНТ СКОРОСТИ ПЕРЕД РАБОЧИМ КОЛЕСОМ

Управление работой систем горизонтального дренажа с машинным водоотводом заключается в изменении подачи насосных станций, откачивающих дренажный сток, согласно выбранному закону регулирования динамики бьефов в коллекторах [1]. При этом необходимо обеспечить постоянство горизонта воды, достигаемое соблюдением баланса отвода и притока дренажного стока в коллектор. В результате устраняются побудительные причины для оплывания и обрушения откосов коллекторов.

Одним из технических решений, обеспечивающих регулирование подачи дренажной насосной станции, является устройство, создающее момент скорости потока перед рабочим колесом энергией отводимой со стороны нагнетания перекачиваемой среды ("перепуск с подкруткой") [2].

Принцип действия и конструкция

На рис. 1 приведена конструктивная схема насосной установки с осевым жестколопастным насосом, снабженной устройством регулирования подачи [3]. Работа насосного агрегата, установленного с положительной высотой всасывания, регулируется датчиками верхнего и нижнего уровней (на схеме не показаны). При максимальном горизонте воды в коллекторе установка автоматически включается в работу. Дроссельная заслонка 5 перепускного трубопровода 4 закрыта. Подача насосной установки максимальна.

При понижении горизонта воды в нижнем бьефе поплавков 6, влекомый противовесом 10, перемещается вниз, преодолевая сопротивление пружины 11. При этом происходит постепенное открытие дроссельной заслонки 5 перепускного трубопровода 4. Поток воды со стороны нагнетания 3 по перепускному трубопроводу 4 поступает в устройство для закручивания потока 1, где происходит его подача через сопла по касательной к основному потоку. При истечении жидкости из сопел на поверхностях струй непосредственно за срезом сопел возникает чрезвычайно интенсивное турбулентное перемешивание.

Вследствие этого струи расширяются и масса их увеличивается за счет окружающей среды. При вторжении частиц из струй в поток жидкости происходит передача энергии. Инжектирование струй в поток в тангенциальном направлении создаёт поперечную циркуляцию присоединяемых масс окружающей среды в пространстве всасывающей трубы насоса, накладываемую на поступательное движение потока. В результате движение потока, подходящего к рабочему колесу, приобретает винтообразный характер.

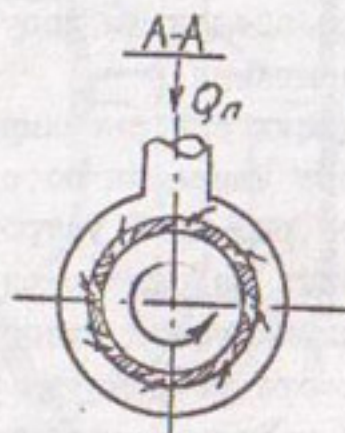
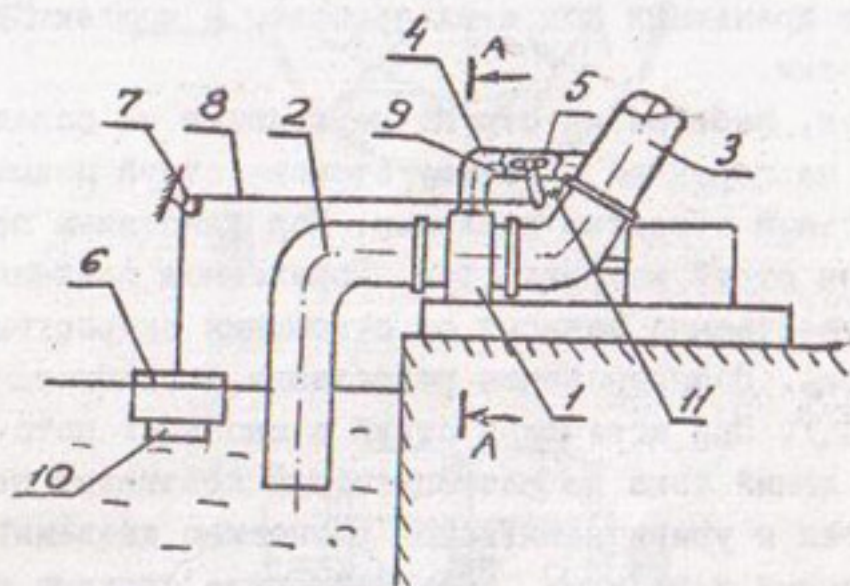


Рис. I. Конструктивная схема осевого жестколопастного насоса с автоматически регулируемой подачей:

I - устройство для закручивания потока; 2 - всасывающий трубопровод; 3 - нагнетательный трубопровод; 4 - перепускной трубопровод; 5 - дроссельная заслонка; 6 - поплавок; 7 - блок; 8 - трос; 9 - рычаг привода заслонки; 10 - противовес; 11 - пружина.

При закручивании потока по ходу вращения рабочего колеса происходит уменьшение частоты вращения рабочего колеса относительно набегающего потока на величину частоты вращения закрученного потока. Подача насосной установки снижается. Момент скорости закрученного потока пропорционален углу открытия дроссельной заслонки, т.е. уровню воды в нижнем бьефе.

При повышении горизонта воды в нижнем бьефе процесс регулирования происходит в обратном порядке. Таким образом, поддержание баланса отвода дренажных вод с их притоком в коллектор происходит автоматически.

Основной поток, набегаая на струи, истекающие из сопел, тормозится, создавая на передней к потоку стороне струй повышенное по сравнению с тыльной областью давление. Под действием перепада давления территории струй искривляются. Пониженное давление в зоне за струями существенно зависит от отношения скоростных напоров струй и потока. Возникновение разряжения объясняется следующим образом [4]. При истечении струй в сносный поток вследствие искривления линий тока на частицы струй действует центробежная сила, которая и уравнивается разностью давлений перед инжектируемыми струями и за ними. Возникающее за струями разряжение увеличивает вакуум перед рабочим колесом, при этом сокращаются время запуска насосных установок, установленных с положительной высотой всасывания и предельно допустимая в этом случае геометрическая высота всасывания.

Ввиду сложности происходящих при регулировании процессов (из-за винтообразного характера движения потока перед рабочим колесом) правильное назначение размеров устройства регулирования подачи можно достигнуть лишь на основании опытных данных.

Описанная конструкция регулируемой насосной установки и приведенная ниже методика расчета устройства регулирования подачи проверены на передвижной насосной станции СНПЗ-150/5, оборудованной насосом ОГ 8-25.

Расчет насосной установки на заданные условия работы

Цель расчета – определение размеров проточной части устройства регулирования подачи, удовлетворяющих заданному режиму работы. Схема регулятора подачи и расчетная схема сопла представлены на рис. 2, 3.

Исходными для расчета являются рабочая характеристика и

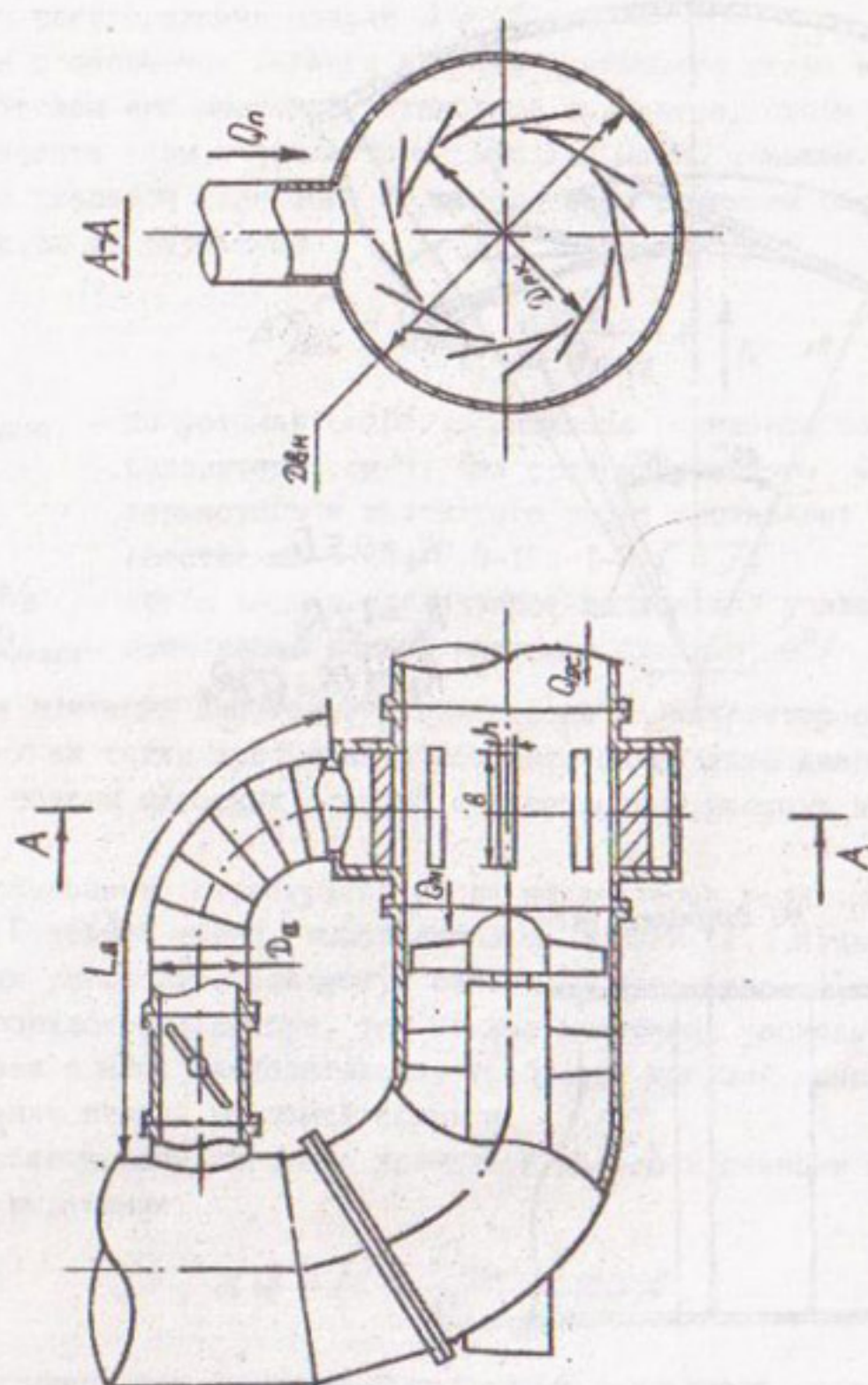
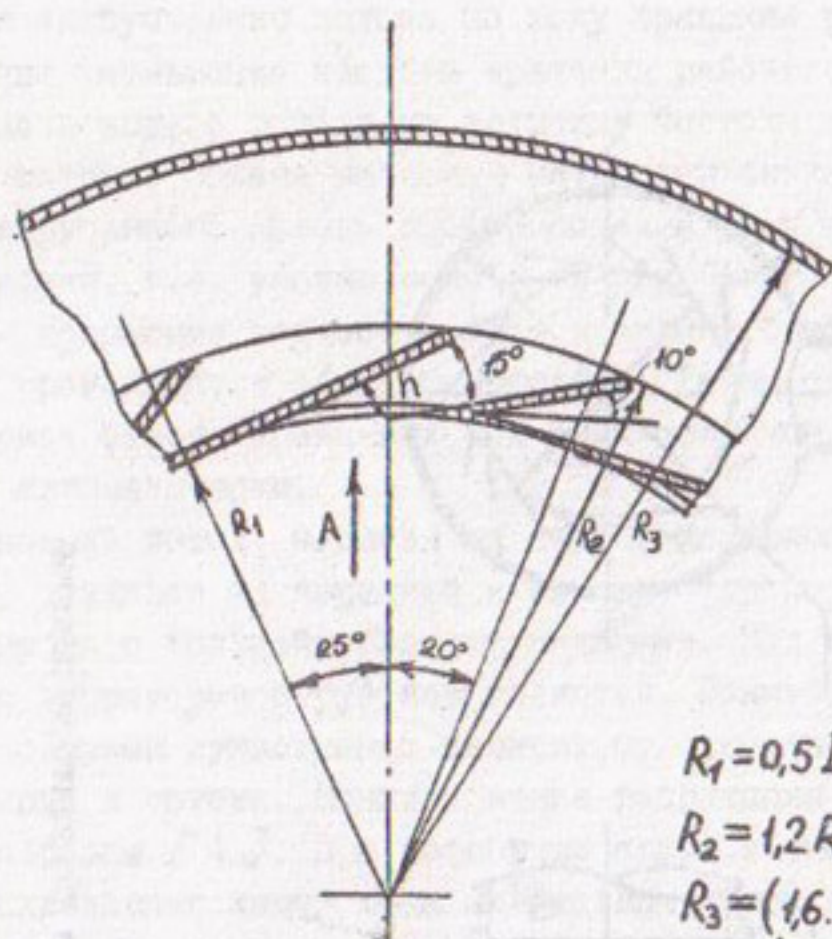


Рис. 2. Расчетная схема регулятора подачи.



$$R_1 = 0,5 D_{PK}$$

$$R_2 = 1,2 R_1$$

$$R_3 = (1,6 \dots 1,7) R_1$$

по стрелке A

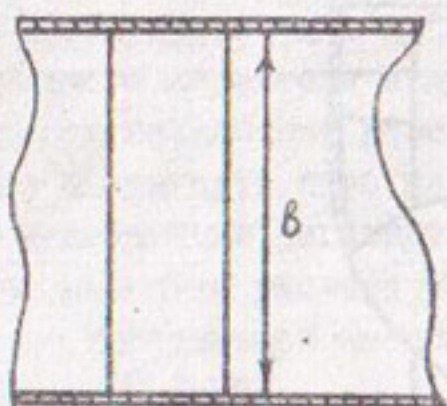


Рис. 3. Рекомендуемая конструкция сопла.

конструктивные размеры насоса, характеристика сети, диапазон колебания горизонта воды в нижнем бьефе ΔH_{BC}^r (м), требуемый диапазон регулирования подачи ΔQ (%).

Для обеспечения баланса притока дренажного стока в коллектор с отводом его насосной установкой требуется, чтобы колебание горизонта воды в коллекторе было как можно меньшим. Исходя из этого диапазон колебания горизонта воды в нижнем бьефе рассчитывается из выражения

$$\Delta H_{BC}^r = V_{\text{сниж}} \frac{W_B}{36 Q_{\text{макс}}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{сниж}}$ — допустимая скорость снижения горизонта воды в коллекторе, см/ч. Для среднезернистого, мелкозернистого и пылеватого песка составляет соответственно 6-25; 8,3-10; 1-3 [5];

W_B — объём воды в коллекторе, подлежащий удалению, м³;

$Q_{\text{макс}}$ — наибольшая подача насосной станции, м³/ч.

Для имитации самотечного водоотвода из коллекторов насосными станциями также требуется обеспечить совпадение диапазона изменения подачи насосных станций с колебаниями расхода в коллекторах.

Исследования гидрографов стока коллекторов различного порядка в Голодной степи, выполненные в САНИИРИ (А.А.Кузьменко), позволили установить следующую закономерность (рис. 4). Чем больше порядок коллектора, тем меньше колебания расхода дренажного стока в нём, следовательно, требуется меньший диапазон регулирования подачи насосной станции.

Диапазон регулирования дренажной насосной станции определяется из выражения

$$\Delta Q = \left(1 - \frac{Q_{\text{мин}}}{Q_{\text{макс}}}\right) 100\%. \quad (2)$$

Например, при максимальном расходе дренажного стока в коллекторе, равном 0,2 м³/с, требуется обеспечить 95%-ный диапазон регулирования дренажной насосной станции.

Основные параметры, которые могут быть получены из рабочей характеристики насоса:

подача — Q , м³/с;

напор — H , м;

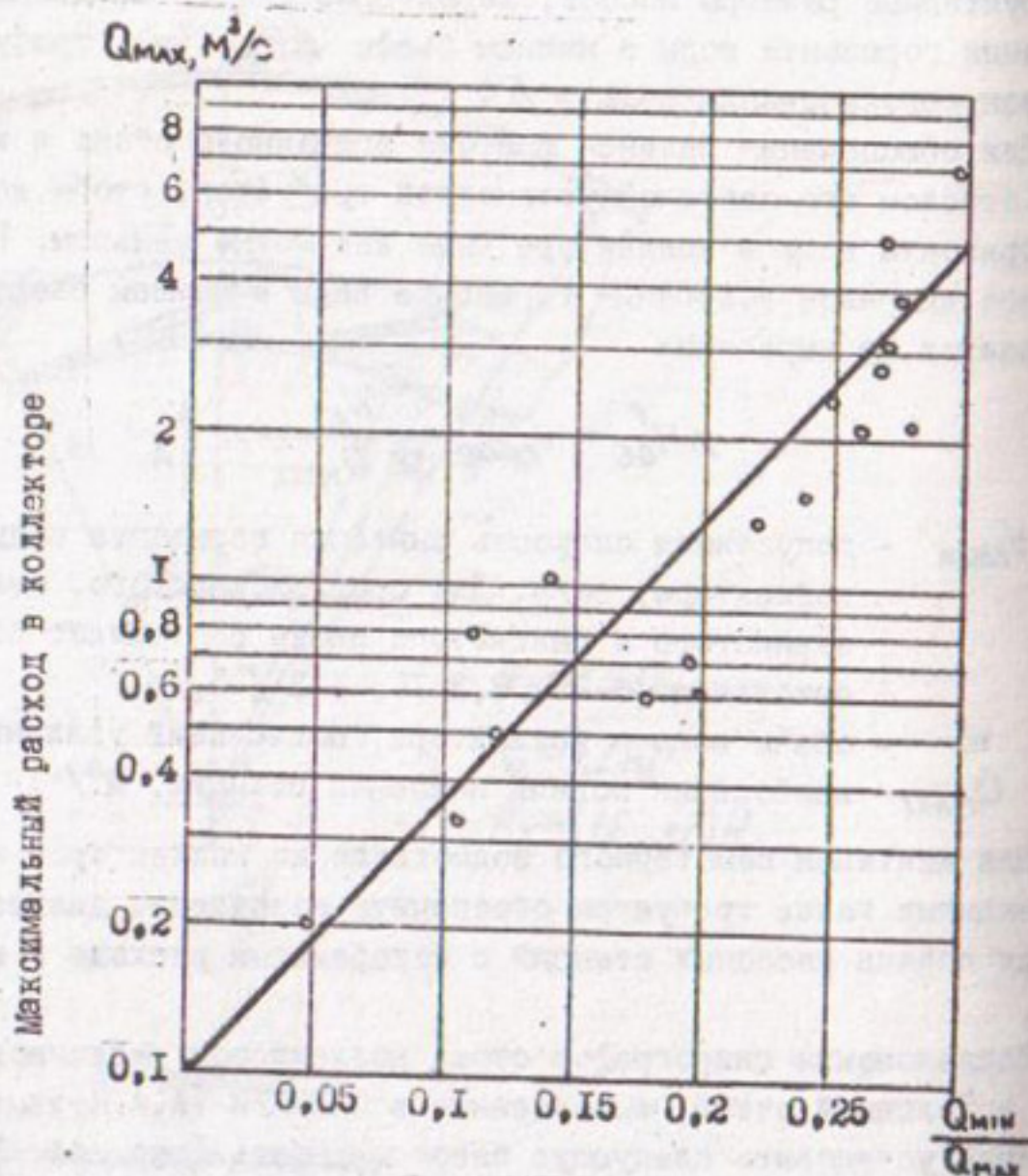


Рис. 4. Колебания дренажного стока в зависимости от максимального расхода в коллекторах.

потребляемая мощность - N , кВт;

частота вращения рабочего колеса - n , мин^{-1} ;

диаметр рабочего колеса - $D_{\text{рк}}$, м.

По совместной характеристике насоса и сети определяются рабочие режимы насосной установки при изменении горизонта воды в нижнем бьефе на величину $\Delta H_{\text{вс}}$ (рис. 5): Q_A - соответствует подаче насосной установки при наивысшем заданном горизонте воды в нижнем бьефе, Q'_A - при наинизшем.

Требуемая минимальная подача насосной установки определяется из выражения

ширина (принимается из технологических соображений)

$$b = D_n + 0,01, \quad \text{м}, \quad (8)$$

$$\text{высота} \quad h = (0,9 \dots 1,0) \frac{0,785 D_n^2}{Z_c \cdot \delta}, \quad \text{м}. \quad (9)$$

Рекомендуемое из технологических соображений значение количества сопел $Z_c = 8$.

При выполнении поплавковой системы по кинематической схеме, изображенной на рис. I, функции поплавок и возвратной пружины разделяются. Подъемная сила поплавок при движении вверх должна обеспечить подъем противовеса, а энергия закрученной пружины расходуется на преодоление сил трения и реактивного момента, возникающего при обтекании потоком дроссельной заслонки перепускного трубопровода.

При движении поплавок вниз уравнение моментов, приведенных к оси дроссельной заслонки, может быть представлено в виде

$$M_{\text{пI}} \geq M_{\text{пр}} + M_{\text{тр}} + M_{\text{р}}. \quad (10)$$

При движении поплавок вверх уравнение моментов будет выглядеть следующим образом:

$$M_{\text{п2}} + M_{\text{пр}} + M_{\text{р}} \geq M_{\text{пI}} + M_{\text{тр}}, \quad (11)$$

где $M_{\text{пр}}$ — момент, создаваемый возвратной пружиной;

$M_{\text{пI}}$ — момент, создаваемый противовесом;

$M_{\text{п2}}$ — момент, создаваемый поплавком;

$M_{\text{тр}}$ — момент трения в подшипниках, блоках и т.п.;

$M_{\text{р}}$ — реактивный момент, возникаемый при обтекании дроссельной заслонки.

Момент, создаваемый пружиной, должен быть больше или равен сумме моментов $M_{\text{тр}}$ и $M_{\text{р}}$. Как показали исследования, возникающий при обтекании дроссельной заслонки гидродинамический момент стремится закрыть заслонку. Максимальное значение этого момента возникает при $\varphi = 60-65^\circ$, где φ — угол открытия дроссельной заслонки. В связи с этим расчет момента $M_{\text{пр}}$ должен проводиться для максимальной величины $M_{\text{р}}$.

Момент, возникающий при обтекании дроссельной заслонки, определяется из выражения

$$M_{\text{р}} = 0,0060 m \gamma (1 + \xi) \frac{Q_n^2}{D_n} \quad (\text{Н м}), \quad (12)$$

где m — коэффициент, зависящий от формы дроссельной заслонки и угла поворота, значения которого принимаются по табл. I, заимствованной нами из [6];

Таблица I

Расчетные параметры дисковых затворов

Угол поворота φ , град	Коэффициент сопротивления ζ				m	β
	$D_y = 100$ мм	$D_y = 150$ мм	$D_y = 200$ мм			
10	-	-	-	-	0,02	1
20	-	1500	1200	-	0,09	1,04
30	1000	200	100	-	0,15	1,1
40	60	42	30	-	0,25	1,2
50	25	15	8	-	0,45	1,3
60	8	8	2,5	-	0,75	1,33
70	2,5	1,4	0,85	-	1,15	1,15
80	1	0,55	0,4	-	1,43	0,8
90	0,45	0,4	0,35	-	-	-

(открыто полностью)

- D_n - диаметр дроссельной заслонки, м;
 γ - удельный вес воды, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с}^2)$;
 Q_n - расход перепускного трубопровода, $\text{м}^3/\text{с}$;

Момент трения рассчитывается как

$$M_{\text{тр}} = M_B + M_D + M_T \quad (\text{Н} \cdot \text{м}). \quad (\text{I3})$$

Момент M_B вызывается трением вала заслонки по сальнику и определяется из соотношения

$$M_B = 0,5 \mu D_n \left[P_D + 0,065 \beta \gamma (1 + \xi) \frac{Q_n^2}{D_n^5} \right] (\text{Н} \cdot \text{м}), \quad (\text{I4})$$

где P_D - масса диска дроссельной заслонки в сборе, кг;

μ - коэффициент трения, принимаемый для дроссельной заслонки с уплотнением по диску 0,4-0,6 [6];

β - коэффициент гидродинамического воздействия потока в зависимости от угла поворота, принимаемый по табл. I.

Момент M_D вызван трением резинового шнура о стенки перепускного трубопровода, вычисляется по зависимости [6]

$$M_D = \pi D_n h_{\text{кн}} q \mu R (\text{Н} \cdot \text{м}), \quad (\text{I5})$$

где $h_{\text{кн}}$ - ширина контактной поверхности в положении полного закрытия заслонки, м;

R - приведенный радиус;

q - угальное давление, равное 15 $\text{кг}/\text{см}^2$ [6].

Момент M_T вызван трением троса о стенки защитной трубки

$$M_T = F_T l_2 (\text{Н} \cdot \text{м}), \quad (\text{I6})$$

где F_T - сила трения, Н;

l_2 - перемещение поплавка, м

$$l_2 = \Delta H_{\text{вс}}.$$

Момент $M_{\text{пр}}$, создаваемый возвратной пружиной, определяется как

$$M_{\text{пр}} = (1,1-1,2) (M_p + M_{\text{тр}}) (\text{Н} \cdot \text{м}). \quad (\text{I7})$$

Конструктивно возвратная пружина выполнена в виде пружины кручения, насаженной на вал привода дроссельной заслонки. Нижним концом пружина закреплена за корпус заслонки, верхним - за рычаг управления дроссельной заслонкой. Установочный рабочий

момент пружины определяется в виде

$$M_{\text{пр.уст.}} = (0,1-0,2) M_{\text{пр}} \quad (\text{Н} \cdot \text{м}). \quad (18)$$

Зная $M_{\text{пр}}$, можно рассчитать диаметр пружины, количество витков и т.п. Формулы расчета приведены в [7].

Для насоса ОГ 8-25 испытанные пружины имели следующие параметры: для заслонки диаметром 140 мм – внутренний диаметр пружины – 42 мм, диаметр проволоки – 6 мм, количество витков $n_{\text{пр}} = 11$. Максимальный крутящий рабочий момент $M_{\text{пр}} = 10 \text{ Н} \cdot \text{м}$, установочный крутящий момент $M_{\text{пр.уст.}} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Для заслонки диаметром 100 мм внутренний диаметр пружины и диаметр проволоки – соответственно 19 и 4,5 мм, $n_{\text{пр}} = 16$, $M_{\text{пр}} = 2,86 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $M_{\text{пр.уст.}} = 0,572 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Момент, создаваемый противовесом, должен удовлетворять условию (10) и рассчитывается по формуле

$$M_{\text{п1}} = P_{\text{п1}} g l_1 \quad (\text{Н} \cdot \text{м}); \quad (19)$$

где $P_{\text{п1}}$ – масса противовеса, кг;

g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;

l_1 – длина поворотного рычага, м

$$l_1 = \frac{2}{\pi} l_2 \quad (20)$$

Момент, создаваемый поплавком, определяется выражениями

$$M_{\text{п2}} = (1,1-1,2) M_{\text{п1}} \quad (21)$$

$$M_{\text{п2}} = (F_a - P_{\text{п2}} g) l_1 \quad (\text{Н} \cdot \text{м}). \quad (22)$$

где $P_{\text{п2}}$ – масса поплавка, кг;

F_a – Архимедова сила, Н

$$F_a = \gamma h_{\text{п2}} S_{\text{п2}}. \quad (23)$$

Здесь $h_{\text{п2}}$ – глубина погружения, м;

$S_{\text{п2}} = 0,785 D_{\text{п2}}^2$ – площадь поперечного сечения поплавка, м^2 ;

$D_{\text{п2}}$ – диаметр поплавка, м.

Высота поплавка, выполненного в виде цилиндра большого диаметра из мелкопористого пенопласта, находится по зависимости

$$h_n = (1,1-1,2) h_{\text{п2}} \quad (\text{м}). \quad (24)$$

Определение параметров насосной установки

В практике может возникнуть ситуация, когда необходимо определить параметры насосной установки при известных геометрических размерах устройства регулирования подачи.

Исходными для такого расчета являются рабочая характеристика насоса, характеристики всасывающего и напорного трубопроводов, диаметр перепускного трубопровода D_n , количество сопел Z_c и их линейные размеры — b, h .

Суммарная площадь выходного сечения сопел (m^2) определяется из выражения

$$S = Z_c \cdot b \cdot h \quad (25)$$

Затем определяется суммарный коэффициент сопротивлений элементов устройства регулирования подачи. Значения коэффициентов сопротивлений отдельных элементов регулятора подачи приведены в табл. 2 [8].

Т а б л и ц а 2

Местное сопротивление	ξ
Вход в перепускной трубопровод	2,0
Колено перепускного трубопровода	0,34
Вход в устройство закручивания потока (внезапное расширение)	$(\frac{0,255 \cdot b \cdot D_{PK}}{D_p^2} - 1)^2$
Конические сопла	$Z_c \cdot 0,09$

На совместной характеристике насоса и сети (рис. 6) по зависимости Вейсбаха

$$h_{pa} = \sum \xi \cdot 0,083 \cdot \frac{Q_n^2}{D_n^5}$$

из точки с ординатой $H = H_{вс}^r$ строится гидравлическая характеристика регулятора подачи (5), а также суммарная характеристика напорного трубопровода и устройства регулирования подачи (6). Точкой пересечения полученной кривой 6 с напорно-расходной характеристикой насоса I определится рабочий режим насосной установки при регулировании перепуском. Перпендикуляр, восстановленный из этой точки на ось ОН, даст значение напора насосной установки H_B . Пересечение данного перпендикуляра с характери-

кой регулятора подачи определит расход перепускного трубопровода Q_n' .

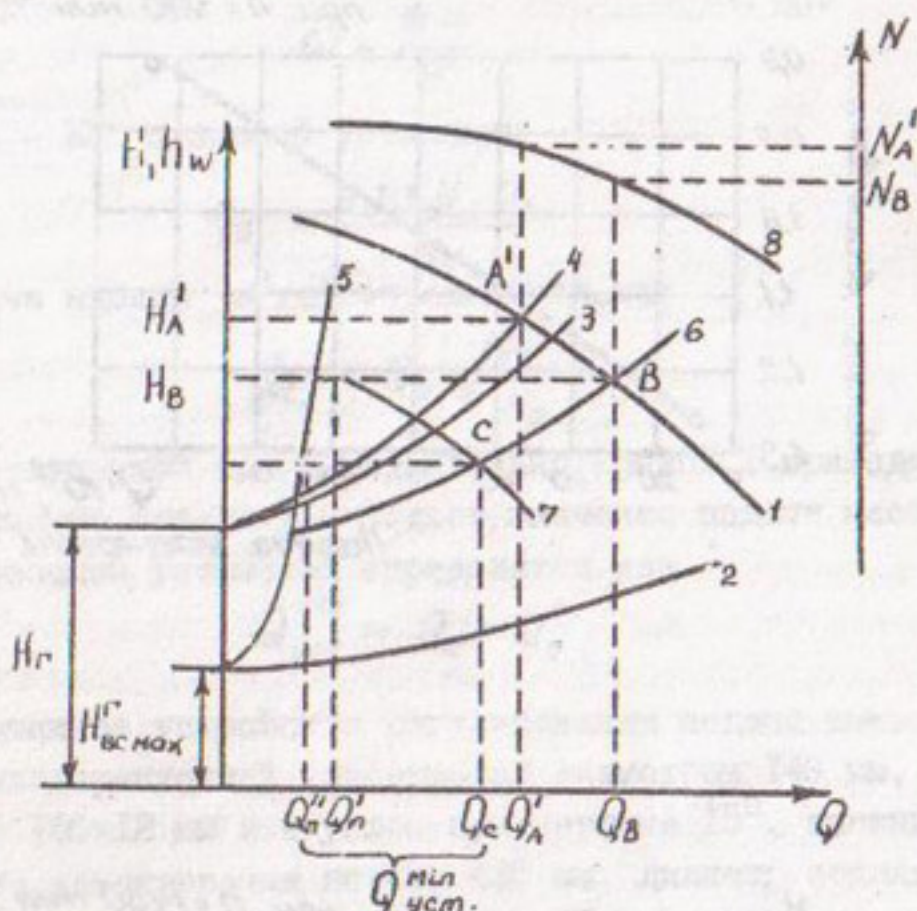


Рис. 6. Определение параметров насосной установки при регулировании подачи "перепуском с подкруткой":

1 – характеристика насоса; 2 – характеристика всасывающего трубопровода; 3 – характеристика напорного трубопровода; 4 – суммарная характеристика всасывающего и напорного трубопроводов; 5 – характеристика перепускного трубопровода и устройства закручивания потока; 6 – суммарная характеристика перепускного и напорного трубопроводов; 7 – характеристика насоса со сниженным числом оборотов; 8 – мощностная характеристика насоса.

Момент скорости потока на входе в рабочее колесо, создаваемый устройством регулирования подачи

$$K_I = \frac{Q_n'^2 D_{PK}}{2.5 \cdot Q_B} \quad (\text{м}^2/\text{с}). \quad (26)$$

Напор насосной установки при закрутке потока перед рабочим колесом вычисляется по формуле

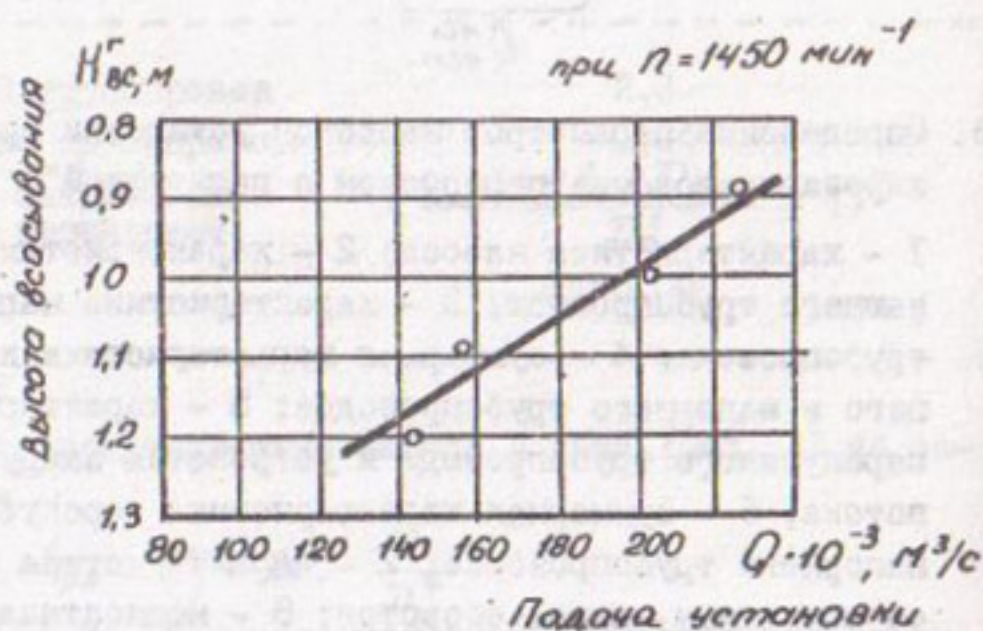
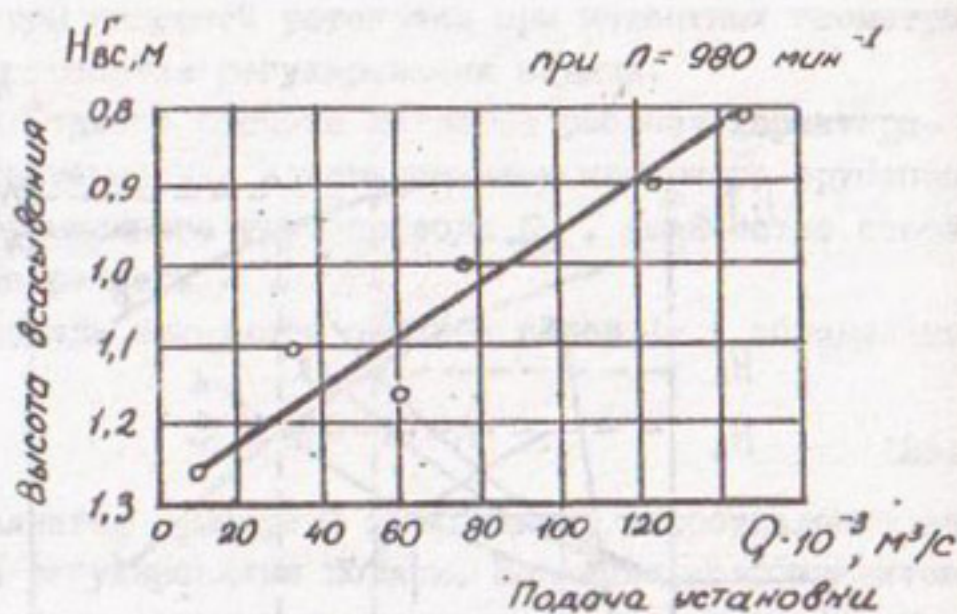


Рис. 7. Регулировочные характеристики СНПЭ-150/5 при изменении горизонта воды в нижнем бьефе.

$$H_{cI} = H_B - \frac{\omega}{g} \eta_B K_I \quad (\text{м}), \quad (27)$$

где ω — угловая скорость вращения рабочего колеса, с^{-1}

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (28)$$

η_B — КПД насосной установки

$$\eta_B = \frac{3,81 H_B Q_B}{N_B}. \quad (29)$$

Подача насоса ($\text{м}^3/\text{с}$) определится как

$$Q_{cI} = Q_B \sqrt{\frac{H_{cI}}{H_B}}. \quad (30)$$

Из полученной точки параллельно кривой I приводится кривая

7. Пересечение кривых 7 и 6 даст значение подачи насоса Q_c .

Подача насосной установки определится как

$$Q_{уст}^{MIN} = Q_c - Q_n. \quad (31)$$

Испытанное устройство регулирования подачи имеет следующие параметры: перепускной трубопровод диаметром 140 мм, 6 сопел размерами 150x12 мм и с углом при вершине 15° , внешний диаметр устройства закручивания потока 410 мм. Диаметр поплавка 500 мм, высота — 100 мм, вес противовеса — 15 кг.

Работа устройства была проверена на стенде в лаборатории НС и У. Зависимость подачи СНПЗ-150/5, регулируемой данным устройством, при изменении горизонта воды в нижний бьеф, приведена на рис. 7.

Список использованной литературы

1. Насосные установки для систем горизонтального дренажа / Усманов Р. А., Машков В. Н., Кузьменко А. А., Беглов И. Ф. // Сб. тез. научн. докл. уч.-научн. центра по подготовке инж.-ирригаторов, посв. 60-л. юбил. ТИИМСХ (11-14 мая 1994 г.). Ташкент, 1994. С. 43-44.
2. Беглов И. Ф. Регулирование подачи низконапорных лопастных насосов с помощью перепускного устройства, создающего момент скорости перемещения рабочим колесом // Сб. научн. тр. молодых ученых. Среднеаз. н.-и. ин-т ирригации, 1995. С. 53-58.

3. Свид-во на полезн. модель № 41 (UZ) МПК 5 F 04 D 29/40.
Осегой жестколопастной насос с регулируемой подачей /
Машков В. Н., Усманов Р. А., Беглов
И. Ф., Среднеаз. н.-и. ин-т ирригации - № FMGU 950007,
ИФ; Заявл. 12.05.95 // Официальный бюллетень. 1995. № 4,
С.95.
4. Теория турбулентных струй / Абрамович Г. Н.,
Гиршович Т. А., Крашенинников С. Ю.
и др. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Под ред. Г.Н.Абрамови-
ча. М.: Наука, Главная редакция физико-математической ли-
тературы, 1984. 720 с.
5. Маслов Б. С., Минаев И. В., Губер К. В.
Справочник по мелиорации. М.: Росагропромиздат, 1989.
384 с.
6. Туманов А. А., Мирецкий С. Е. Применение
дисковых затворов для закрытой оросительной сети // Обо-
снование проектных решений современных мелиоративных си-
стем Средней Азии. Сб. научн. тр. Средазгипроводхлоска.
Ташкент, 1982. С.130-139.
7. Анурьев В. И. Справочник инструктора-машиностроителя
в 3-х т. Изд. 5-е, перераб. и доп. Т.3. М.: Машинострое-
ние, 1978. С.146-150.
8. Киселев П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам.
Изд. 4-е. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1972. 568 с.

УДК 621.64:678

Р.Ш.Ганиев, Ш.М.Махмудов, М.К.Асамов

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТМАССОВЫХ ТРУБ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ВОДОВОДОВ

В последние годы проблема обеспечения населения Республики Узбекистан доброкачественной питьевой водой, строительство городских и сельских водопроводов приобрела особо важное социальное, экономическое и гигиеническое значение.

В настоящее время в водопроводной практике наиболее широко используются стальные и чугунные трубы, производство которых требует больших энергетических и финансовых затрат. Стальные трубы подвержены коррозии и сравнительно недолговечны. Производство и применение пластмассовых труб из-за их высокой тех-

нико-экономической эффективности во многих странах широко развиты. [1].

Основными материалами для изготовления труб являются полиолефины и непластифицированный поливинилхлорид (ПВХ). На их основе создан ряд специализированных марок полимерных материалов с различными добавками. Они представляют собой сложные композиции, включающие ингредиенты разного функционального назначения [2, 3].

Использование поливинилхлоридных композиций для изготовления изделий водоснабжения требует исключения из них токсичных металлов. В связи с этим поиск заменителей нетоксичных добавок к поливинилхлориду – актуальная задача.

В республике нет производств ПВХ, однако другие 5-6 компонентов как наполнители, стабилизаторы можно изыскать из продукции и ее отходов местной химической промышленности.

Данную проблему можно решить путём разработки новых составов композиции на основе ПВХ, где количество канцерогенных веществ резко снизится и вместо них будут применены более экологически чистые вещества.

Специалистами отдела строительных материалов НПО САННИРИ и лаборатории химии полимеров ТашГУ проведена работа по разработке композиции на основе ПВХ для изготовления "питьевых" труб.

Термоокислительная деструкция ПВХ в присутствии кислорода существенно ускоряется за счет окислительных процессов, приводящих к появлению в макромолекулах полимера в дополнение к уже имеющимся аномальным структурам новых промежуточных (радикалы, гидропероксиды) и конечных кислородсодержащих группировок. Следовательно, в условиях термостабильной деструкции ПВХ перво-степенное значение приобретают стабилизаторы, проявляющие антиокислительные свойства [4, 5, 7].

В исследованиях термостабилизаторов ПВХ композиций применены модифицированные вторичные продукты масложирового производства – госсиполовая смола и новые продукты синтеза на основе отхода ПО "Электрохимпром" – соды-порошка. Образцы компози-тов готовили по стандартной рецептуре для ПВХ композиционных труб с использованием традиционных стабилизаторов двухоснов-ного сульфата свинца, ВМР-9-1, а также предлагаемых стабилиза-торов: ОГСЛ, натриевая соль бензойной кислоты (Na соль БК), сода-порошок, жировая масса.

Физико-химические и технологические испытания композитов с использованием ОГСЛ при частичной замене свинецсодержащего промышленного термостабилизатора ВМР-9-1 и ТОСС показали, что термостабильность при температуре 190 °С составляет 45-46 мин. Время пластификации, показатель текучести расплава по сравнению с контрольными образцами уменьшаются. При этом снижение времени пластификации сокращает время смешения ПВХ композиций.

Термостабильность ПВХ композиций существенно повышается при введении Na соли БК при частичной замене промышленных стабилизаторов с одновременным сокращением и смешением компонентов. Однако ПТР с повышением содержания Na соли БК уменьшается (таблица). Стабилизирующее действие Na соли БК обусловлено связыванием выделяющегося HCl при термоокислительном разложении ПВХ. Кроме того, Na соль БК способствует обменной реакции с лабильным атомом Cl, что повышает термостабильность и цветостойкость полимера [7, 8].

Исследования термостабилизирующих свойств соды-порошка при замене промышленных термостабилизаторов показали, что термостабильность опытных композиций при содержании 0,5-1,0 мас.ч. намного выше стандартных.

При введении в рецептуру дополнительно вторичного продукта масложировой промышленности жировой массы термостабильность композиции повышается до 60 мин с одновременным сохранением ПТР, что на 15 мин выше стандартной композиции.

Повышение термостабильности объясняется, по-видимому, синергическим эффектом жировой массы с содой-порошком, а также производных госсипола и фосфорорганических соединений в жировой массе.

Изучение термоокислительной деструкции исходного ПВХ и его композиций дериватографическим методом показало, что на термограмме (рис. 1) появляются два пика. Первый при 250-350 °С отнесён к тепловому эффекту эндотермической реакции дегидрохлорирования, второй при 420-500 °С - к тепловому эффекту экзотермического процесса окисления дегидрохлорированного остатка. В случае стандартного образца (рис. 1, кривая 2) максимум первого пика составляет 285 °С. Сравнение площадей пиков с чистым ПВХ (рис. 1, кривая 1) показало, что для стандартного образца он меньше. Это не значит, что процесс дегидрохлорирования происходит намного меньше, чем для исходного ПВХ. Максимальный тепло-

Свойства различных составов композиций на основе ПВХ

Компонент и свойства композиций	Стандартная рецептура	Номер состава композиции									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПВХ С - 70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Белгородский мел	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85
ВМР - 9	2,00	1,00	-	1,00	1,50	1,00	2,00	2,00	1,50	2,00	2,00
ТОСС	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	-	-	0,50	0,50
Стеариновая кислота	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	-	-
ОГСИ	-	1,00	2,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Na соль БК	-	-	-	1,00	1,00	1,50	-	-	-	-	-
Сода-порошок	-	-	-	-	-	-	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00
Жировая масса	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	0,25
175											
Время пластификации, мин	17	-	-	-	-	-	9	12	14	10	10
ПТР, г/10 мин	0,3	-	-	-	-	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Термостабильность при температуре 190°C, мин	45	-	-	-	-	-	54	53	42	56	60

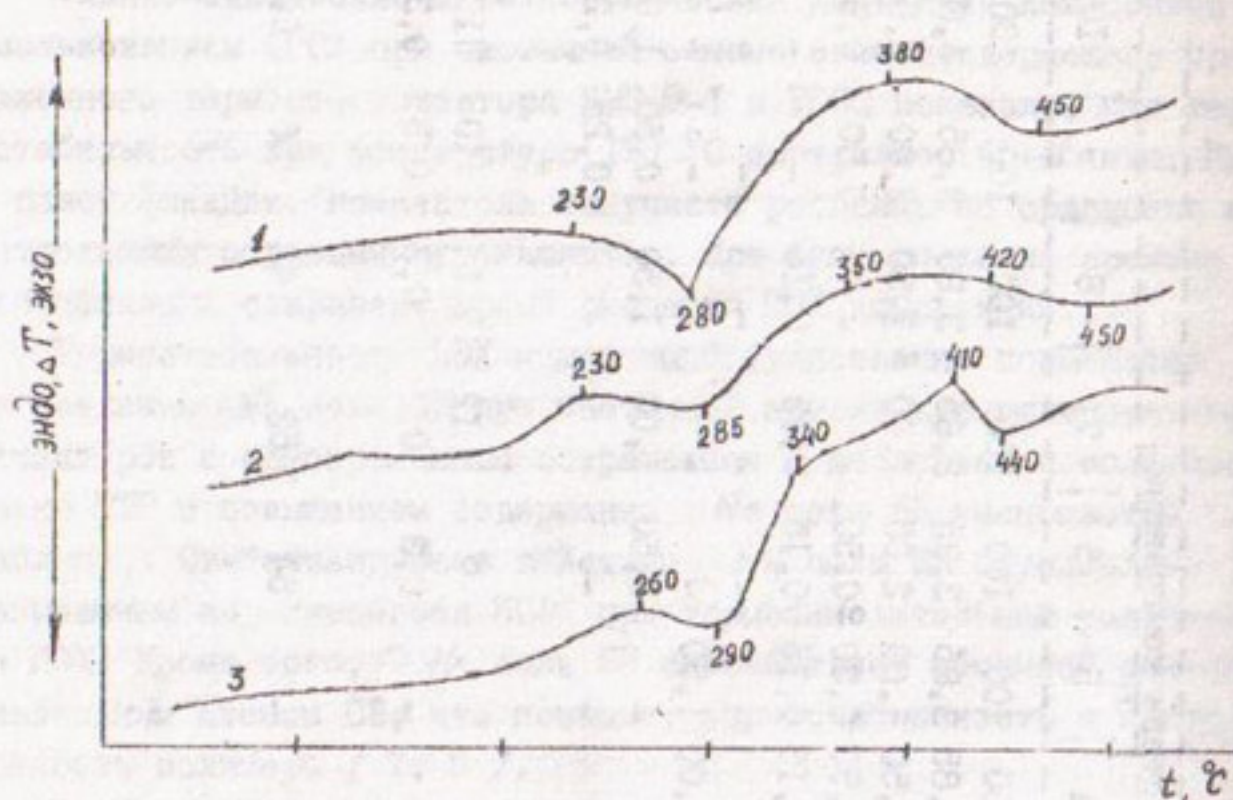


Рис. 1. Кривые ДТА исходного ПВХ (1), стандартной композиции (2) и композиции, содержащей ОГСЛ (3).

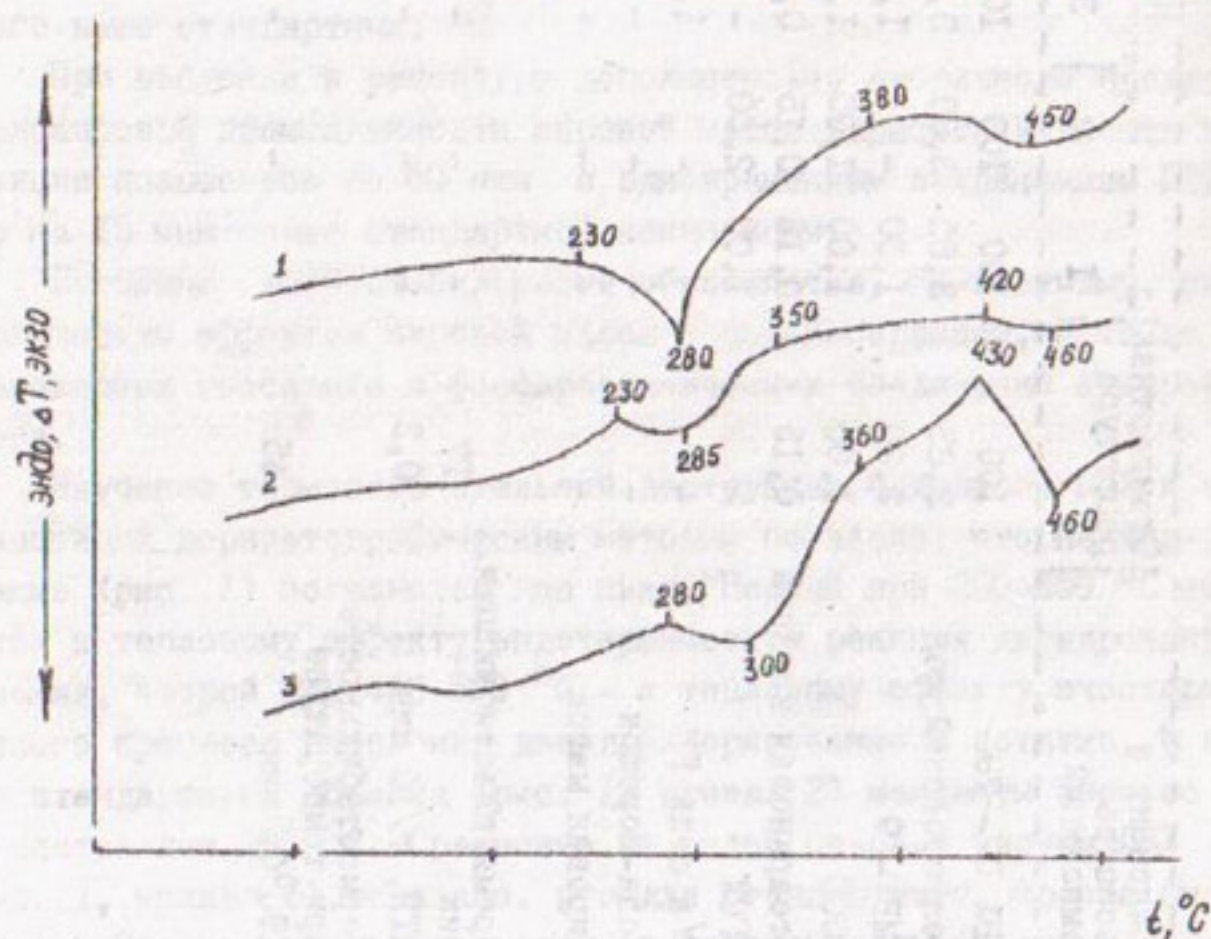


Рис. 2. Кривые ДТА исходного ПВХ (1), стандартной композиции (2) и композиции, содержащей известковую муку (3).

вой эффект (первый пик) наблюдается при более высоких температурах (290 °C), что указывает на повышенную его термостабильность. Данные дериватографических исследований разработанных композиций свидетельствуют о более высокой их термостабильности по сравнению с заводской.

Таким образом, термостабильность ПВХ композиций с применением отходов производства – капралактама, соды-порошка и ОГСЛ не уступает, а в некоторых случаях и превосходит таковую известных стабилизирующих смесей, содержащих ВМР-9 и ТОСС.

В качестве наполнителей для полимерных композиций могут быть использованы практически все материалы после придания им определенных размеров и формы. В присутствии природных минеральных наполнителей возрастает термостабильность высокомолекулярных соединений вследствие контактного взаимодействия на границе раздела твердое тело – полимер. При этом существенную роль в образовании связей играют природа и содержание активных центров на поверхности частиц наполнителя.

Неорганическим синтетическим наполнителем является фосфогипс – отход производства фосфорных удобрений. В состав фосфогипса входит двуводный гипс, применяемый в качестве наполнителя, улучшающего прочностные свойства полимерных материалов [5].

В настоящей работе исследовано влияние минеральных наполнителей: известковой муки, шорсита (Ферганского месторождения), бентонита на свойства композиций на основе ПВХ. Определено, что при частичной замене Белгородского мела фосфогипсом время пластификации исследуемых композиций остаётся на уровне стандартной рецептуры, кроме того, термостабильность повышается до 60 мин. При полной его замене фосфогипсом термостабильность остаётся на том же уровне, однако ПТР ПВХ композиций снижается до 0,1 г/10 мин, что ухудшает текучесть расплава полимерной смеси.

При влиянии бентонита на свойства ПВХ композиций все показатели остаются на уровне контрольной рецептуры.

Взамен импортного Белгородского мела использовались доступные и дешевые минеральные наполнители: шорсит и известковая мука. При полной замене Белгородского мела шорситом повышается термостабильность и сокращается время смешения композиций. ПТР остаётся на уровне стандартной рецептуры. Существенное влияние на свойства ПВХ, особенно на термостабильность, оказывает известковая мука. По-видимому, она поглощает хлористый водород,

выделяющийся из композиций.

Следовательно, применение в качестве наполнителей для ПВХ дешевого и доступного сырья, способствует удешевлению композиций, широкому модифицированию их физико-механических показателей, экономии первичного продукта ПВХ, что позволит значительно увеличить производство полимерных труб для мелиорации.

В Научно-исследовательском институте санитарии и профзаболеваний республики изучена возможность неблагоприятного влияния указанных композиций на органолептические свойства питьевой воды; определено изменение химического состава питьевой воды под влиянием длительного контакта с ПВХ композициями; установлена динамика бактериологических показателей качества питьевой воды под воздействием изучаемых образцов.

Лабораторные опыты проводились на моделях водоемов с внесением в воду изучаемых образцов. Водную вытяжку из них исследовали на 10, 20 и 30 дни опыта. Методы исследований – стандартные, предусмотренные ГССТом 2874-82 "Вода питьевая". На 30 день проводился спектральный анализ водных вытяжек из всех образцов. Контролем служил аквариум, заполненный водопроводной водой (без внесения образцов).

Результаты изучения влияния ПВХ композиций на органолептические свойства водопроводной воды свидетельствуют о том, что некоторые образцы не оказывают неблагоприятного влияния даже при длительном контакте. Вместе с тем отдельные образцы придавали водным вытяжкам посторонний запах силой до 4-5 баллов (на 20-30 сутки опыта). Все исследованные образцы не оказывают неблагоприятного влияния на санитарно-химический состав водопроводной воды. Водные вытяжки из изученных композиций не отличались по качеству от контрольных проб водопроводной воды по 10 общесанитарным показателям.

Гигиеническими исследованиями установлено, что наиболее перспективной с точки зрения возможности использования в практике хозяйственного водоснабжения является ПВХ композиция № 15, имеющая следующий состав:

ПВХ С-70 – 100 м.ч.: компаунд ВМР 9-1 – 1,5 м.ч.:
наполнитель (известковая мука) – 3,84 м.ч.: ТССС – 1,0 м.ч.:
стеариновая кислота – 0,15 м.ч.: сода-порошок – 0,5 м.ч.

На заводе Каршитермопласт в 1993-1994 гг. проводились работы по выпуску опытной партии труб из разработанных составов

№ 15 композиции ПВХ. При этом проводилась отработка рабочего состава композиции и определялись необходимые данные для составления технологического регламента по изготовлению композиции.

Изготовленные опытные образцы труб испытывались с целью определения их свойств:

	Норма	Показатель
Стойкость при постоянном внутреннем давлении, ч не менее	I	Более 7
Изменение длины трубы после прогрева, % не более	5	3,7
Водопоглощение, г/м ² не более	40	25
Относительное удлинение при разрыве, % не менее	2,5	32
Предел текучести при растяжении, МПа не менее	49	58
Сопротивление удару при двухпорном изгибе, доля разрушенных образцов, % не более	10	6

Разработаны технические условия ТУ Уз 33-04-93 "Композиция на основе поливинилхлорида для напорных труб" и ТУ Уз 33-01-93 "Трубы напорные из непластифицированного поливинилхлорида", которые утверждены Министерством мелиорации и водного хозяйства Республики Узбекистан (прил. 4, 5). Данные ТУ согласованы с Госкомводстроем, Минздравом и зарегистрированы в Госстандарте Республики Узбекистан.

В 1994 г. из изготовленных труб построен опытный участок водовода, за которым ведутся наблюдения.

Список использованной литературы

1. Минскер К. С., Колесов С. В., Заиков Г. Е. Старение и стабилизация полимеров на основе ПВХ. М.: Наука, 1982. С.272.
2. Пуров В. С. Деструкция и стабилизация ПВХ // Пласт. массы, 1976. № 2. С.18-22.
3. Фойгт И. Стабилизация синтетических полимеров против действия света и тепла. Л.: Химия, 1972. С.573.
4. Минскер К. С., Федосеева Г. Т. Деструкция и стабилизация поливинилхлорида. М.: Химия, 1979.
5. Вторичные материальные ресурсы пищевой промышленности // Справочник. М.: Экономика, 1984. 184 с.
6. Композиционные материалы // Сб. научн. трудов Ташкентского политехнического института. Вып. 242. 1978. 154 с.
7. Бочкарева Г. Г., Овчинников Ю. В. и др. Полимерная композиция // Авт.свид. СССР № 1497195, Бюл. № 3. 1989.
8. Шапиро Т. М., Горшков В. С. // Пласт. массы. 1968. № 11. С.10-12.

УДК 681.121

Э.З.Хусанходжаев, А.Г.Локтионов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ
ВОДОМЕРОМ ТИПА ИС-02

Водомеры ИС-02 предназначены для измерения расхода воды на закрытых напорных трубопроводах оросительной и коллекторно-дренажной сети, дождевальных установках и скважин вертикального дренажа [1]. Организация серийного производства и оснащения гидромелиоративных систем этими водомерами в условиях лимитированного водопотребления и возможного перехода на коммерческое водопользование требует сокращения издержек, связанных с метрологическим обеспечением.

Одним из возможных решений этой задачи мы предлагаем расчетный метод определения погрешности водомеров взамен индивидуальной градуировки. Суть метода – определение погрешности расхода по совокупности составляющих погрешности, вызванных неточ-

ностью определения каждого компонента, входящего в расчетное уравнение расхода. Подобный метод успешно применяется для стандартных водосливов, водомерных лотков [2] и сужающих устройств [3].

Рассматриваемые водомеры относятся к устройствам косвенного измерения расхода и стока путем отбора части расхода из трубопровода в измерительный канал.

Исследованиями опытных образцов с различными параметрами конструктивных элементов [3,4] установлено следующее универсальное уравнение расхода водомеров:

$$Q = g \left(\frac{D}{d} \right)^{2,5} \left(\frac{\ell}{x} \right)^{0,5} \frac{C_D}{C_d}, \quad (1)$$

где

Q - расход в трубопроводе;

g - непосредственно измеряемый расход;

D, d, x, ℓ, C_D, C_d - соответственно диаметры, длина и коэффициенты Шези основного и измерительного каналов.

Уравнение получено путем теоретического рассмотрения гидравлической схемы водомера и обосновано данными испытаний на образцовой поверочной установке УПС-100 с погрешностью не более 0,5%.

Косвенный характер измерения обуславливает зависимость искомой величины расхода от нескольких измеряемых величин. В связи с тем, что результаты измерений содержат неточности расход, определяемый по этому уравнению, приближенный. С математической точки зрения отыскание погрешности расхода представляет собой задачу вычисления погрешности функции по погрешностям аргументов и вилу функциональной зависимости. Для водомера, расход которого определяется как произведение нескольких величин, решение по существующим метрологическим нормам [2,4] представлено в виде средней квадратической относительной погрешности.

$$\sigma_Q = \sqrt{\sigma_g^2 + 5(\sigma_D^2 + \sigma_d^2 + \sigma_x^2 + \sigma_\ell^2 + \sigma_{C_D}^2 + \sigma_{C_d}^2)}, \quad (2)$$

где $\sigma_g, \sigma_D, \sigma_d$ и т.д. - относительные погрешности соответствующих измеряемых величин.

Величина погрешности измерения парциального расхода σ_g включает паспортную погрешность применяемого в водомере стандартного счетчика $\sigma_{сч}$ и погрешность схемы отбора парциального расхода в измерительный канал, согласно которой необходима строгая соосность основного и измерительного канала. В реальной конструкции возможны отклонения от соосности, которые приводят к неучитываемому уравнением расхода изменению соотношения параметров потока в основном и измерительном каналах. Это обусловлено характером эпюры распределения осредненных скоростей по сечению трубопровода. Смещение зоны отбора от центра вызывает изменение скоростного напора на входе в измерительный канал и изменение поступающего в него расхода.

На достаточном удалении от стенок трубы применима формула распределения местных осредненных скоростей по сечению [5]

$$\frac{u}{u_{\max}} = \eta^{\frac{1}{m}},$$

где u — скорость на расстоянии z от стенок трубы;

$u_{\max}$ — осевая скорость;

$\eta = \frac{z}{r}$ — радиус трубы.

Показатель степени формулы (3) изменяется в зависимости от числа Рейнольдса и в нашем случае может быть принят равным 0,1.

Если относительное отклонение средней скорости в измерительном канале равно относительному отклонению средней скорости от максимальной в трубопроводе в результате смещения их осей, погрешность измерительного расхода составит

$$\sigma_{изм} = \sigma_u, \quad (4)$$

где σ_u — относительное отклонение средней скорости от максимальной.

Непосредственно из формулы (3) следует

$$\sigma_u = \frac{1}{m} \sigma_z, \quad (5)$$

где σ_z — относительное отклонение от соосности.

Из формул (4) и (5) получена величина погрешности измерительного расхода ($\sigma_{изм}$) при принятом показателе степени $-0,1 \sigma_z$

В соответствии с законом сложения средних квадратических погрешностей величина σ_g в формуле (2) принимает вид

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_{сч}^2 + (0,1 \sigma_z)^2}. \quad (6)$$

Погрешность коэффициента Шези в формуле (2) определена по известной формуле для квадратической области сопротивления

$$C = 8g / \lambda_{кв}, \quad (7)$$

где g — ускорение свободного падения;
 $\lambda_{кв} = 0,11 \left(\Delta / D \right)^{0,25}$ — коэффициент гидравлического трения;

Δ — высота выступа эквивалентной шероховатости.

Величина относительной погрешности коэффициента Шези, определенная на основе этой формулы, равна

$$\sigma_c = \sqrt{(0,25 \sigma_{\Delta D})^2 + (0,25 \sigma_{\Delta d})^2}. \quad (8)$$

С учетом найденных величин (6) и (8) формула (2) принимает вид

$$\sigma_Q = \sqrt{\sigma_{сч}^2 + (0,1 \sigma_z)^2 + 6,9 (\sigma_D^2 + \sigma_d^2) + 0,063 (\sigma_{\Delta D}^2 + \sigma_{\Delta d}^2)}, \quad (9)$$

которая применима для расчета средней квадратической относительной погрешности водомера.

ВЫВОДЫ

При проектировании водомера по формуле (9) определяется предельная погрешность конкретного водомера в зависимости от класса точности его изготовления или, наоборот, устанавливаются требуемый класс точности и предельные погрешности путем сравнения их с допустимой погрешностью измерения расхода.

Подобные расчеты выполнены для 24 типоразмеров водомера с использованием существующих норм в машино- и приборостроении [6]. Водомеры различных типоразмеров, выполненные по одному клас-

су точности, имеют практически одинаковую погрешность.

Расчетный метод в совокупности с полученными ранее результатами исследований составил основу методики поверки и аттестации водомеров типа ИС-02 взамен индивидуальной градуировки.

Список использованной литературы

1. Устройство для измерения расхода и количества жидкости.
Патент Республики Узбекистан № 1059, Давлат патент идораси.
Расмий ахборотнома № 2, Ташкент, 1994.
2. Правила измерения расхода жидкости при помощи стандартных водосливов и лотков. РДП 99-77. М.: Изд-во стандартов, 1977.
3. Методика выполнения измерения расхода воды с помощью специальных сужающих устройств мелиоративного назначения. Казань; Изд-во стандартов, 1991.
4. Ш т е р е н л и х т Д.В. Гидравлика. М.: Энергоатомиздат, 1984. 640 с.
5. К о р о т к о в В.И., Т а й ц Б.А. Основы метрологии и теории точности измерительных устройств. М.: Изд-во стандартов, 1978. 352 с.
6. Допуски и посадки. Справочник в 2 ч / В.Д. Мягков и др. Л.: Машиностроение, 1983.

УДК 627.81:282.255.1:282.255.2

А.Г.Сорокин

ИРРИГАЦИОННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ
СТОКА В БАСЕЙНАХ СЫРДАРЬИ И АМУДАРЬИ

Главная особенность регулирования стока в бассейне Амударьи – наличие внутрисистемных наливных водохранилищ сезонного цикла, работающих в режиме контррегулирования. В бассейне Сырдарьи таких контррегуляторов нет. Здесь регулирование происходит в горной местности, где формируется сток и концентрируются основные гидроресурсы. При этом главная роль отводится Токтогульскому гидроузлу, на который приходится около половины регулирующих ёмкостей бассейна.

Реальные технические возможности регулирования стока Амударьи в настоящее время определяются в основном полезными объёмами Нурекского и Тюмукунского водохранилищ. Суммарная полезная ёмкость их оценивается приблизительно в 7 км^3 . Этого достаточно, если руководствоваться проектными расчетами для сезонного зарегулирования стока Вахша и Амударьи.

Такая оценка регулирования стока справедлива только в том случае, если рассматривать работу Нурекского гидроузла с позиции ирригационного регулирования. Однако в современных условиях это не реально, поскольку при работе ГЭС в таком режиме требования энергосистемы Таджикистана не удовлетворяются. В связи с этим суммарную ёмкость ирригационного регулирования стока Вахша и Амударьи речными водохранилищами необходимо оценивать не в 7 км^3 , а в меньшую величину: во-первых, на ту часть полезной ёмкости Нурекского водохранилища, которая регулирует сток только в целях энергетики, во-вторых, на ту часть "энергетически" зарегулированного стока Вахша, которую ниже Нурекского водохранилища необходимо перерегулировать до "естественного" режима.

"Искажение" стока реки происходит также за счет сброса в реку возвратных вод и перераспределения во времени стока в русле, т.е. его аккумуляирования в половодье и сработки в межень, что требует дополнительной ёмкости для ирригационного зарегулирования.

Увеличение потребных ёмкостей в бассейне Амударьи может быть осуществлено прежде всего за счет нарастания наливных ёмко-

стей Тюямуунского гидроузла и ввода в эксплуатацию Рогунского водохранилища, но на ближайшую перспективу эти ёмкости вряд ли стоит учитывать.

Аналогичная картина наблюдается в бассейне Сырдарьи, с той лишь разницей, что здесь существующее в настоящее время противоречие между гидроэнергетикой и ирригацией приобрело еще более острый характер из-за нарушения проектных функций основного (Токтогульского) водохранилища и отсутствия ниже его контррегулирующих ёмкостей, способных восстановить до "естественного" зарегулированный сток.

Современный потребный водозабор в бассейне превышает объём стока в отдельные гслы. В то же время приблизить гарантированную отдачу в маловодные годы к среднему стоку возможно только теоретически — если регулировать сток прежде всего в интересах ирригации после наполнения Токтогульского водохранилища на максимальную величину и выхода гидроузла на проектный режим эксплуатации.

Согласно проектным проработкам, добиться оптимального ирригационно-энергетического использования в бассейне Сырдарьи можно путём ввода новых ГЭС выше Токтогульского гидроузла (первоочередным является каскад Камбаратинских ГЭС), свободных от ирригационных ограничений и работающих в режиме сезонных энергетических компенсаторов. Однако это не может гарантировать работу Токтогульского гидроузла в интересах ирригации, поэтому невозможно ликвидировать полностью существующие межотраслевые и межгосударственные разногласия и противоречия в требованиях к режиму этого водохранилища.

В связи с этим необходимо менять "энергетический" режим Токтогульского и Нурекского водохранилищ на "ирригационно-энергетический".

Нарын-Сырдарьинский и Вахско-Амударьинский каскады будут работать в ирригационно-энергетическом режиме только в том случае, когда последствия регулирования не будут противоречить прежде всего национальным интересам Кыргызстана и Таджикистана, когда будет заинтересованность всех государств региона в получении эффекта (дохода) в ирригации. Такая заинтересованность возможна только при гарантированном получении в виде выплаты (компенсации) этим республикам части чистого дохода от ирригации другими государствами региона.

Всё дело в выборе объективной линии отсчета, от которой следует считать компенсации (и ущербы) у ирригационных или энергетических потребностей. С тем условием такая линия является величиной бытового стока, соответствующего году определенной обеспеченности, реальным гидрологическим условиям.

Возникает ряд проблем: как рассчитать, а затем и делить общий доход, какие "эффекты" и "ущерб" получают партнёры, за какие уступки режима и последствия регулирования необходимо платить или получать компенсацию и др.

Условно можно выделить два подхода, применяемых при выборе критерия экономической эффективности регулирования водных ресурсов:

цель формулируется как выполнение требований потребителей при минимальных затратах. При их невыполнении (возникает дефицит ресурса) в состав затрат включается ущерб, наносимый народному хозяйству;

цель формулируется как максимум экономического эффекта (разницы между полученным доходом и произведенными затратами).

Практическое применение того или иного подхода к оценке эффективности регулирования зависит от ряда условий. Так, применение первого подхода может быть оправдано только в случае существования базы сравнения (согласованные требования, лимиты, оптимальный режим, выбранный уровень развития и др.), отклонения от которой и определяют "неэффективное" функционирование системы и регулирование стока по сравнению с "оптимальным".

В управлении ирригационно-энергетическим режимом встречаются элементы взаимного исключения, когда одна функция (цель) противоречит или может быть достигнута за счет другой, т.е. существует проблема неопределенности цели, характерная для объектов многоцелевого назначения. Можно выделить два основных направления в решении задач ирригационно-энергетического регулирования. Первое основано на оптимизации ирригационного регулирования и водораспределения и нахождении максимального эффекта от ирригации, при этом интересы энергетики учитываются как ограничения (по уровням и объемам). Второе предполагает удовлетворение заданных требований ирригации (или их урезку в случае ограниченного ресурса) и оптимизацию (в области допустимых по ирригации решений) энергетического режима. По существу это способы сведения многокритериальной задачи к однокритериальной с помощью

выделения главного критерия и назначения ограничений.

Наряду с оптимизацией для задач ирригационно-энергетического регулирования водных ресурсов бассейнов рек Сырдарьи и Амударьи оправдана разработка рациональных методов, учитывающих технико-экономические, экологические и социальные факторы. В этом направлении перспективны эвристические методы, в которых используются индивидуальные особенности задачи, ранее приобретенный опыт.

Решение задачи может быть организовано по частям (декомпозиционно), т.е. разделено на более простые блоки, увязанные между собой. Вычислительный процесс можно начать из области допустимого решения (удовлетворяющего всем ограничениям, но не обязательно оптимального), применяя итерацию, т.е. алгоритм, обеспечивающий последовательное улучшение этого решения.

Для решения задачи ирригационно-энергетического регулирования можно рекомендовать следующий подход (назовем его "компромиссным" планированием). Сначала оценивается то, что считается наиболее важным для тех государств-водопотребителей, в границах которых формируются основные водные ресурсы и происходит их первоначальное регулирование. Например, рассчитываются режимы Токтогульского и Нурекского водохранилищ, удовлетворяющие энергетические требования Кыргызстана и Таджикистана и дается оценка (экономическая, экологическая, социальная) этих режимов для всего региона (по отношению к незарегулированному режиму, проектному и др.). Рассматриваются альтернативные варианты, корректирующие первый вариант по предложениям государств-водопотребителей, расположенных ниже по течению реки. Далее ищется компромисс, удовлетворяющий все заинтересованные стороны. Рациональное решение можно искать по принципу парето: считается, что любое изменение режима, которое никому не причиняет убытков, а приносит некоторым водопотребителям эффект, является "улучшением" (в экономическом, экологическом, социальном смысле).

Водопотребитель, расположенный выше по реке, может согласиться на корректировку своего режима, если его убытки и затраты, связанные с корректировкой, будут компенсированы водопотребителями, расположенными ниже по течению реки.

Рассмотрим условно двух водопотребителей, расположенных по течению реки. Речной сток, формирующийся в верхней части речной сети, примем в равной мере принадлежащий всем водопотребителям.

Предположим также, что в верхней части речной сети (где расположен первый водопотребитель) произошло антропогенное изменение режима речного стока, вызванное его зарегулированием. При этом верхний водопотребитель согласился на корректировку своего "оптимального" режима регулирования в интересах нижележащего водопотребителя, целесообразность корректировки очевидна - "эффект" от неё у второго водопотребителя намного превышает "ущерб" у первого.

Тогда функции, характеризующие работу данной системы для I-го и 2-го водопотребителей можно представить в виде:

$$F_1 = \mathcal{E}_1 - Y_1 + K_1,$$

$$F_2 = \mathcal{E}_2 - Y_2 + K_2,$$

где $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2$ - эффекты (доходы минус затраты) от функционирования частей системы, принадлежащих I и 2 водопотребителям (в отраслях ВХК, экологический, социальный), в денежном (стоимостном) эквиваленте;

Y_1 - ущерб, наносимый I водопотребителем нижележащему 2 в результате искажения естественного (бытового) гидрологического режима реки до "оптимального" по I; определяется затратами на перерегулирование стока или компенсацию потерь (потери находятся по разнице ущербов, наносимых 2 водопотребителю, при "оптимальном" и бытовом режимах), в денежном (стоимостном) эквиваленте;

K_2 - компенсация 2 водопотребителю ущерба, наносимого I водопотребителем 2 в результате искажения бытового режима реки; определяется величиной Y_1 ;

Y_2 - ущерб, наносимый 2 водопотребителем вышележащему I в результате корректировки "оптимального" по I водопотребителю режима; определяется затратами I-го водопотребителя на резервы (если они созданы и могут покрыть ущерб) или ущербом от невыполнения "оптимального" плана в денежном (стоимостном) эквиваленте;

K_1 - компенсация I водопотребителю ущерба, наносимого 2 водопотребителем I в результате корректировки "оптимального" режима реки; определяется величиной Y_2 .

Рациональное решение ищется до тех пор, пока нельзя найти изменение режима, улучшающее предыдущее состояние системы: $\text{MAX}(F1)$, $\text{MAX}(F2)$.

СОДЕРЖАНИЕ

В.А.Духовный, И.Б.Рузиев. Основные проблемы Арала и Приаралья и подходы к их решению	3
В.А.Николаенко. Проблемы гидроэкологического мониторинга поверхностных водных ресурсов республик Центральной Азии	11
Х.А.Исмагилов. Русловые процессы на р.Амударье в условиях антропогенного воздействия на речной поток	18
И.Б.Рузиев, А.Р.Расулов, Ф.Х.Хикматов, Б.Е.Апенбаев. Исследование динамики поступления речных вод в дельту р.Амударьи	25
Х.А.Исмагилов, О.Н.Тихонова. Критерии формирования заторов и зажоров на участках рек с криволинейным руслом	30
И.Б.Рузиев, Т.Досганов. Эколого-экономическая эффективность применения гидроботанического способа очистки коллекторно-дренажных вод от загрязняющих веществ (на примере дельты р.Амударьи)	37
В.А.Николаенко. Качество воды водохранилищ бассейнов Амударьи и Сырдарьи и проблемы их использования для питьевого водоснабжения	42
Ш.Р.Хамдамов. Исследование схемы организации очистных работ подводящих каналов при бесплотинном волозаборе из р.Амударьи	49
М.Р.Икрамов. Расчет скоростей в верхнем бьефе берегозащитной дамбы	57
В.А.Николаенко, К.В.Громыко. Гидроэкологическое состояние и прогноз качества воды Андижанского водохранилища как источника хозяйственно-питьевого водоснабжения	62
О.Б.Евдаков. Географическая информационная система как современный способ обработки информации	66

А.Г.Савицкий, О.Н.Тихонова. Подход к расчету разрушений дамб, плотин и иных насыпных сооружений . . .	74
А.Г.Савицкий. Метод определения экстремумов для особого вида критериальных функций	85
О.Н.Тихонова. Количественная оценка деформаций русел рек по данным измерений УГМС	88
К.Ш.Латипов, А.М.Арифжанов. Расчет длины установления потока	95
В.Г.Насонов. Изменчивость засоления почв и урожай . . .	99
Г.Е.Батурин. Типизация гидрогеологических условий для выбора конструкции водоприёмной части и технологии укладки закрытого горизонтального дренажа	109
Г.Р.Климова, Н.М.Салихов. Результаты исследований искусственных фильтров для закрытого горизонтального дренажа в Ферганской области	114
В.Н.Бердянский. Конструкция и расчет водозахватной и водоприёмной способности закрытых дрен . . .	121
А.Абиров. Оптимальный срок службы мелиоративного вертикального дренажа	129
А.В.Новикова, О.М.Муралова. Капельное орошение хлопчатника	139
Б.Г.Малаев, Э.Б.Малаев. Контур увлажнения при капельном орошении	145
М.М.Мирзаев, А.В.Новикова, А.Г.Пулатов. Микроорошение яблоневого сада	152
И.Ф.Беглов. Расчет насосной установки с устройством, создающим момент скорости перед рабочим колесом	156
Р.Ш.Ганиев, Ш.М.Махмудов, М.К.Асамов. Применение пластмассовых труб для устройства водоводов	172
Э.З.Хусанходжаев, А.Г.Доктионов. Определение погрешности измерения расхода воды водомером типа ИС-02	180

А.Г.Сорокин. Ирригационно-энергетическое регулирова- ние стока в бассейнах Сырдарьи и Амударьи	185
---	-----

Мелиорация и водное хозяйство.
Сб. научных трудов, Ташкент: САНИИРИ, 1996, 194 стр.

Редактор Р.Е.Рубан

Подписано в печать 16 IX-96г.

Уч.-изд. л.

Заказ № 48

Тираж 250 экз.

Цена лог.

Отпечатано в ИЦ НПО "САНИИРИ"