

**Т.ф.д., проф. Махмудов Илхомжон Эрназарович,
PhD Садиев Умиджон Абдусамадович,
PhD Каршиев Рустам Жураевич**

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОДЫ В ИРРИГАЦИОННЫХ КАНАЛАХ

УДК 628.228

Рецензенты

М. Р. Икрамова, д.т.н., профессор

Ф. А. Гаппаров, д.т.н., профессор

Махмудов И.Э., Садиев У.А., Каршиев Р.Ж.

М 36 Методы повышения эффективности и надежности при использовании воды в ирригационных каналах – Praha: Premier Publishing s.r.o. 2022. – 116 с.

ISBN 978-80-908199-6-2

DOI <http://doi.org/10.29013/IMRUWIC.Makhmudov.Sadiev.Karshiev.2022.116>

Монография посвящена вопросам надежности и эффективности крупных каналов Ташкентской области. Приводятся результаты натурных и теоретических исследований состояния надежности и безопасности крупных ирригационных каналов. А также, компьютерная программа водобалансового расчета крупных каналов: канал Паркент, Хандам и Ташкентский магистральный канал.

Материал, изложенной в монографии, представляет большой интерес для сектора водного хозяйства и позволит решить большое количество практических задач в условиях водного дефицита. Книга может служить пособием для научных работников и магистрантов.

*Монография рекомендована к изданию решением Научного Совета Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем
Протокол № 2 от 20 января 2022 года.*

Subscribe to print 10/03/2022. Format 60×90/16.

Offset Paper. Garinitura Arno. Conv. Pec. liter. 12. Edition of 300 copies.

Typeset in Premier Publishing s.r.o. Praha, Czech Republic.

Printed by Premier Publishing s.r.o.

Praha 8 - Karlín, Lyčkovo nám. 508/7, PSČ 18600,

Czech Republic

pub@ppublishing.org, ppublishing.org

ISBN 978-80-908199-6-2

© Махмудов И.Э., Садиев У.А., Каршиев Р.Ж.

© Premier Publishing s.r.o. Praha, 2022.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	6
Глава 1. Существующие способы управления водораспределением в магистральных каналах оросительных систем	9
1.1. История развития систем водораспределения. Основные направления и этапы развития	9
1.2. Современные тенденции совершенствования систем управления водораспределением и водоизмерением.....	14
1.3. Установившееся и неуставившееся течение воды в каналах оросительных систем. Математические модели	15
<i>Выводы по главе 1</i>	<i>24</i>
Глава 2. Особенности формирования и функционирования систем водоснабжения Чирчик-Ахангаранского бассейна.....	26
2.1. Водные ресурсы Чирчик-Ахангаранского бассейна	26
2.2. Существующие классификации крупных каналов	28
2.3. Особенности функционирования крупных каналов Ташкентской области	29
2.3.1. <i>Ташкентский магистральный канал (ТМК).....</i>	<i>29</i>

2.3.2. Паркентский магистральный канал (ПМК)	31
2.3.3. Канал Хандам	33
2.4. Натурные исследования состояния надежности и эффективности крупных каналов Ташкентской области	36
2.4.1. Ташкентский магистральный канал	36
2.4.2. Паркентский канал	38
2.4.3. Канал Хандам	40
2.5. Методика фильтрационного расчёта крупных магистральных каналов	44
2.5.1. Расчёт фильтрации из Ташкентского магистрального канала	46
2.5.2. Расчёт фильтрации из канала Хандам	48
2.5.3. Расчёт фильтрации из канала Паркент	50
2.6. Оптимизация гидродинамических параметров потока воды в оросительном канале	51
2.7. Расчет надежности работы канала Хандам	55
Выводы по главе 2	57

Глава 3. Гидравлическая зависимость и компьютерная программа водобалансового расчета разветвленных каналов	59
3.1. Экспоненциальный закон изменения расхода воды в ирригационных каналах	59
3.2. Водобалансовая расчетная схема крупных каналов: канал Паркент, Хандам и Ташкентский магистральный канал	65

3.2.1. Канал Паркент.....	66
3.2.2. Канал Хандам	78
3.2.3. Ташкентский магистральный канал (МК)	91
3.3. Информационные географические системы со встроенными базами данных в гидрографическом управлении водными ресурсами	93
Выводы по главе 3.....	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	105
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	108

ВВЕДЕНИЕ

В условиях дефицита водных ресурсов, остро стоит проблема гарантированного обеспечения потребностей отраслей экономики, в частности сельского хозяйства водными ресурсами, наряду с повышением рациональности их использования, снижения водоёмкости производства сельскохозяйственной продукции и непроизводительных потерь.

Проблема обеспечения потребителей водными ресурсами требует системного подхода и поиска новых путей решения при рациональном распределении водных ресурсов между потребителями, посредством установления лимитов забора из водного объекта, определяемых в соответствии с водохозяйственными балансами по водохозяйственным участкам в различных условиях водности.

Системный подход к управлению технологическими и гидравлическими процессами водораспределения на оросительных каналах требует качественного улучшения работы всех их звеньев. При эксплуатации оросительных каналов главными проблемами становятся оптимизация водоотборов из естественных водных источников и вопросы эффективного водораспределения в распределительных каналах. Особое отношение эти проблемы имеют к оросительным магистральным каналам, неэффективное использование воды из которых достигает 30–40% и более.

Эффективный процесс управления водораспределением невозможен без совершенствования гидравлических методов управления водными ресурсами на участках распределительных сетей, повышения надежности гидротехнических сооружений и проведения специальных исследований динамических процессов течения воды, сопровождающихся сложными гидравлическими процессами на ирригационных каналах.

Эффективность – это относительная характеристика результативности деятельности конкретной управляющей системы, отражающая в различных показателях, как объекта управления, так и собственно

управленческой деятельности, имеющих, как количественные, так и качественные характеристики.

Результаты анализа изменения объёмов водных ресурсов на любом водохозяйственном участке бассейна реки Чирчик-Ахангаран показали, что водные ресурсы, являясь элементом всех отраслей экономики, наиболее чувствительны к изменениям, как человеческой деятельности, связанной с использованием земель, появлением и развитием новых технологий и др., так и к изменениям природных условий. В этой связи, все решения по управлению водными ресурсами принимаются в условиях неопределённости. Эти обстоятельства диктуют необходимость создания и использования для принятия управленческих решений экономико-математических моделей, позволяющих реагировать на случайно изменяющиеся условия водности.

Надёжность водоснабжения характеризуется свойством систем выполнять функции водообеспечения, сохраняя во времени установленные технологические показатели в пределах, соответствующих заданным режимам и условиям эксплуатации и технического обслуживания. В целом проблема надёжности водоснабжения охватывает широкий круг вопросов, связанных с обеспечением и поддержанием требуемого уровня бесперебойности работы, как отдельных видов оборудования, так и сооружений, входящих в систему водоснабжения.

В настоящее время, с развитием вычислительной техники и численных методов решения задач гидравлики открытых водотоков, большие возможности приобретает компьютерное программирование гидравлических процессов, протекающих на ирригационных каналах. При разработке компьютерного продукта для управления водораспределением, в основу необходимо положить принцип обеспечения полного соответствия между количеством воды, поступающей из водозабора, и, тем её количеством, которое потребляется в хозяйствах. Для реализации этого принципа на современных оросительных системах должна осуществляться автоматизация технологических процессов водоподачи и водоотведения.

В создании данной монографии приняли участие сотрудники Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем:

введение, главы 1 и 3 монографии написаны И. Э. Махмудовым и глава 2 – У.А. Садиевым и Р.Ж. Каршиевым.

Авторы и редакторы заранее благодарят всех читателей монографии, которые возьмут на себя труд сделать критические замечания, направленные на улучшение монографии в будущем.

Разработка и внедрение эффективных систем управления, включающих в свой состав гидравлические и экономико-математические модели для поддержки принятия управленческих решений, позволяющих повысить эффективность и надежность управления водораспределения, является актуальной.

Глава 1. Существующие способы управления водораспределением в магистральных каналах оросительных систем

1.1. История развития систем водораспределения. Основные направления и этапы развития

Основные этапы развития систем водораспределения, а также направления и научные подходы к решению проблемы непроизводительных сбросов и потерь оросительной воды на ирригационных системах, хорошо проанализированы в работах [35; 38]. Эти этапы и направления связаны, прежде всего, с разработкой рациональных схем водопотребления и водораспределения, средств их реализации. Попытаемся указать главные причины неудач в решении данной проблемы.

В 60-е годы прошлого столетия начали появляться средства регулирования и автоматизации локальных систем на магистральных и межхозяйственных водоподводящих и водораспределительных каналах. Они включают способы и методы гидравлических и электрических взаимодействий, в связи со всевозможными схемами регулирования: по верхнему бьефу, по нижнему бьефу, смешанное регулирование, схемы регулирования перетекающими объёмами, каскадное регулирование с постоянными перепадами и пр. [5].

В конце 70-х и начале 80-х годов начали разрабатываться новые способы водораспределения, например, с регулированием «по требованию». На принципе регулирования «по требованию» работают многие из схем регулирования: по нижнему бьефу, смешанное, регулирование перетекающими объёмами [7; 14; 17].

На существующих оросительных системах в различных видах используется метод локальной автоматизации отдельных объектов

и процессов, что обуславливает применение телемеханизации оперативного управления [22].

Автоматизация оросительных систем подразумевает оснащение их устройствами автоматики и телемеханики, которые позволяют полностью или частично эксплуатировать систему без непосредственного участия человека [37; 41]. В этих условиях обязанности обслуживающего персонала на автоматизированных системах управления сводятся к наблюдению и управлению автоматически протекающими процессами и поддержанию средств автоматизации в технически исправном состоянии. В зависимости от уровня автоматизации системы, в управлении водораспределением, можно выделить автоматическую и полуавтоматическую схему управления. При автоматическом управлении. начало процесса и необходимая последовательность операций производятся в автоматическом режиме. При полуавтоматическом – начальный импульс определяется человеком, а последующие операции определяются автоматически [37; 41].

Оперативное управление автоматизированной системой осуществляется централизованно. При комплексной автоматизации диспетчер выполняет оперативные функции, т.е. непосредственно воздействует на режим работы объекта, контролирует его по показаниям измерительных приборов. При соответствующем оснащении он в любой момент может получить информацию о расходах и уровнях воды на гидрометрических постах и провести локальную перерегулировку щитов сооружений [54].

При дефиците водных ресурсов применяют следующую стратегию водораспределения: пропорциональное, приоритетное, оптимальное.

Наиболее просто реализуется пропорциональное, сущность которого заключается в равном долевым уменьшении расхода во всех точках выдела во всех хозяйствах. Приоритетное водораспределение заключается в одинаковом ограничении в воде различных водопотребителей. Приоритет устанавливают на основании экспертных оценок, которые получают в результате статистической обработки мнений нескольких экспертов [37].

Эффективное водораспределение – это наиболее сложно реализуемый технологический процесс, при котором получают наибольший

экономический эффект, при использовании заданного объема оросительной воды. Метод оптимального водораспределения требует наличия достоверной и достаточной информации, значительных вычислительных затрат и автоматизированной системы водораспределения. В этом случае широко применяют экономико-математические методы, реализуемые с помощью современных численных расчетов. Принцип подачи воды непрерывным током сохранился и в существующих нормативных документах [53; 60].

Однако, допустимые потери воды на непроизводительные сбросы во внутрихозяйственной сети, постепенно исчезли из всех нормативных документов. Не учитывается даже рекомендовавшийся в 80-х годах 5%-й запас воды в распределительной сети. Тем самым, без внедрения соответствующих технических и технологических средств управления, решением на законодательном уровне оросительная сеть трансформировалась в «полностью управляемую со «100%-й надёжностью». На деле сбросы из государственной сети, за которую несут ответственность управления, перемещены далее во внутрихозяйственную сеть.

Анализ зарубежной и отечественной научно-технической литературы и патентных источников показал, что в практике, большинство систем подачи воды представляют собой взаимосвязь главных, боковых (вторичных), подбоковых, терциарных и кватернарных каналов. Признётся, что при комплексном рассмотрении единой сети каналов, выбор схемы управления и технологических конструкций может быть более полно исследован, чем при рассмотрении каждого фрагмента канала, как независимой единицы. Исследования проводятся с целью улучшения качества водоучёта и водораспределения для повышения состояния надёжности и эффективности систем водораспределения. Как пример, можно привести схемы, используемые для регулирования уровня воды на всём протяжении канала: ЭЛЬ-ПОТОК, CARRD и метод Зимбелмана. Во всех схемах используется обратная связь между уровнями воды в конце участка нижнего бьефа и уровнем воды в рассматриваемом створе, чтобы удерживать постоянную отметку горизонта воды в этом створе. Эти методы применяются на действующих главном и боковых каналах, где отбор воды в водозаборы осуществляется в конце нижнего бьефа участка канала [77; 79].

Другой метод BIVAL обычно применяется на больших каналах и речных системах, где точный контроль уровней воды в конце нижнего бьефа на рассматриваемых участках, не является определяющим. Управление посредством регулирования объёма основано на принципах сохранения постоянных объёмов воды в бьефе канала. Этот метод также применим к большим каналам, где все водозаборы управляются автоматически. Среди используемых на западе способов регулирования объёма, управление гидротехническими затворами является единственным методом, в котором пытаются использовать модель канала для точного прогноза поведения потока и состояний зеркала воды [31; 52].

Существующие статические методы регулирования и управления технологическими процессами водораспределения и водообеспечения не решают проблем минимизации непроизводительных потерь воды. По своей сути они не могут учитывать сложные динамические процессы, которые имеют место в каналах от магистральных до внутрихозяйственных распределителей. Достоинства и недостатки, применяемых в настоящее время статических методов регулирования, приведены на (Рис. 1.1).

Другой метод управления – динамическое регулирование, основан на предложениях обеспечения водой по требованию. В этом методе вода из источника подаётся согласно ожидаемым запросам с внесением непрерывных изменений. На практике, исходя из конкретных социальных, экологических, экономических и других условий эксплуатации систем орошения, многие из вышеупомянутых методов рассматриваются совместно. В настоящее время все методы управления водораспределением применяются для соответствующих практических целей.

Из зарубежных источников представляет интерес «Способ динамического регулирования движения воды в водопроводящей сети» (патент Франции 2258699 от 20.06.93. Заявитель – Акционерное общество экономики смешанного типа (Общество Канала ПРОВАНС)) [56]. Предполагаем, что в приведенном изобретении сосредоточены все основные принципиальные положения и другие подходы для решения задачи сбросного регулирования и управления водораспределения, с учётом явления инерционности течения и транспортного запаздывания.

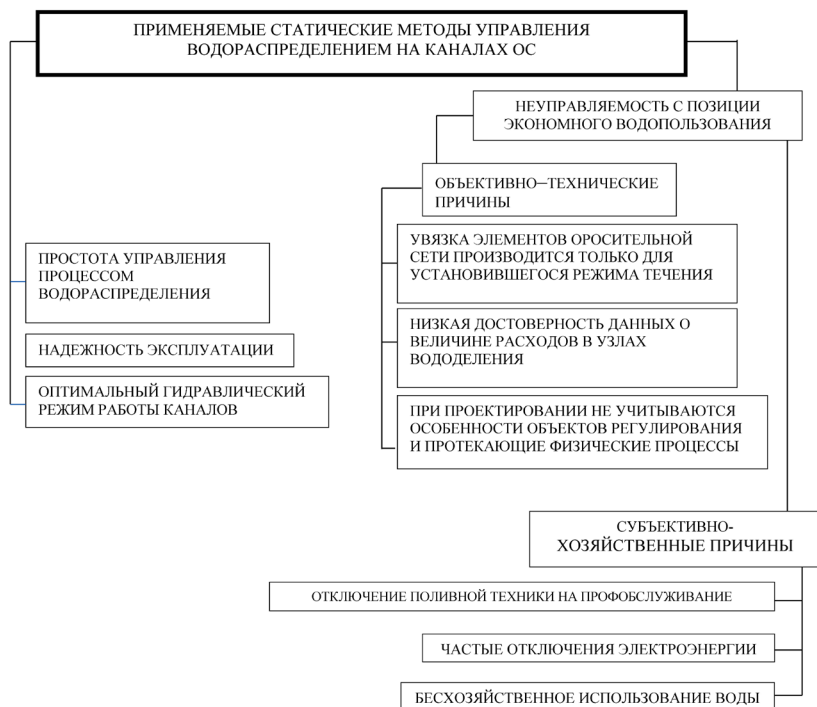


Рисунок 1.1. Применяемые в настоящее время статические методы управления водораспределением на каналах ОС

Основная идея заключается в расчёте параметров регулирования и управления ТП водораспределения на имитационных моделях и принятии диспетчером (или управляющей машиной) решения о характере и величинах оптимальных управляющих воздействий для уменьшения непроизводительных сбросов воды на оросительных системах. Можно сказать, что метод динамического регулирования является одним из наиболее эффективных методов с точки зрения его возможностей для максимального сокращения непроизводительных сбросов из системы водораспределения.

Для реализации на практике указанного метода динамического регулирования на стадии разработки проектов ОС должны проводиться гидравлические имитационные исследования и варианты сравнения эксплуатации водораспределительных каналов при различных режимах движения воды в них, в том числе и при подпорно-переменных.

1.2. Современные тенденции совершенствования систем управления водораспределением и водоизмерением

В практике эксплуатации и проектирования оросительных систем применяются в основном две схемы управления водораспределением [60; 87]:

- регулирование по верхнему бьефу;
- регулирование по нижнему бьефу.

С помощью первой схемы организуются системы управления «по плану», а с помощью второй – «по требованию» [55].

На абсолютном большинстве действующих оросительных систем используется метод централизованного диспетчерского управления водораспределением «по плану» с ручным управлением технологическими процессами, разработанного в 90-х годах прошлого столетия для условий оросительных систем Средней Азии.

Существуют отдельные оросительные системы, оснащённые средствами телемеханики, локальной автоматизации и информационно – советующих систем. Но в настоящее время реализация таких систем на практике ограничена в силу многих факторов [71].

Управлять водными потоками на большинстве систем можно только в очень узком технологическом диапазоне, суть которого сводится к одному режиму – непрерывный (длительно не изменяемый) ток воды в створе потребителей

В условиях высокودинамического водопотребления, характерного для объектов с поливом дождеванием, применением капельного орошения и возможных экономических перемен, связанных с переходом к рыночной экономике, существующие методы централизованного водораспределения не способны обеспечить рациональное водопользование, так как с позиции экономного водопользования они неуправляемы.

Неуправляемость существующих методов водораспределения объясняется объективно-техническими причинами (трудно прогнозируемый характер водопотребления, отсутствие практических методов расчёта гидродинамических процессов в разветвлённой оро-

сительной сети, низкая достоверность, а зачастую и отсутствие информации о величине расходов воды в многочисленных узлах вододеления) и субъективно-хозяйственными (отключение поливной техники на перестановку, профилактическое обслуживание и заправку топливом, частые отключения электроэнергии, бесхозяйственное использование воды отдельными потребителями) [75; 84].

Большинство существующих рекомендаций по эксплуатации и проектированию допускает расчленение сложной разветвлённой оросительной сети на отдельные подзадачи, увязка которых в единую сеть производится только для условий стационарного установившегося режима работы объекта. Это и является причиной того, что до настоящего времени не удалось создать инженерные методы выбора схем водораспределения, степени автоматизации и телемеханики процессов и минимально необходимый уровень оснащения распределительной сети средствами водоучёта [61; 74; 85].

Совершенствованием численных методов решения уравнений Сен-Венана и создание на их базе гидравлических моделей, позволяет анализировать динамические процессы, происходящие во взаимоувязанной разветвлённой оросительной сети методами системного анализа и впервые дать научно обоснованные рекомендации по объединению в единое целое систем управления (ручное и автоматизированное) и систем водоучёта [1; 20; 89].

1.3. Установившееся и неуставившееся течение воды в каналах оросительных систем. Математические модели

Для рационального регулирования водоподачи на автоматизированных оросительных системах необходим обязательный учёт, возникающего в каналах неуставившегося движения воды.

Решение задачи неуставившегося движения воды в канале сводится к интегрированию дифференциальных уравнений Сен-Венана (De Saint-Venant B.), что вызывает серьёзные математические трудности. До начала активного применения ЭВМ разрабатывались методы приближенного решения с введением тех или иных допущений и ограничений [3; 4; 23; 57; 83].

В зависимости от степени сложности, используемые для описания процесса движения воды исходных предпосылок, модели могут быть стохастические, концептуальные и гидродинамические. Стохастические модели используют обычно для построения статистических зависимостей между параметрами изучаемого явления, на основе использования данных наблюдений на объекте. Они просты и требуют мало исходной информации, но обычно не раскрывают сущности физических процессов. Примерами этих моделей могут служить различные модели регрессивного характера, не позволяющие рассчитывать процессы движения воды в реальном времени.

В качестве примера концептуальной математической модели можно привести модель неустановившегося движения воды Калинина-Милюкова [6; 28]. В моделях данного типа происходит более глубокое проникновение (в сравнении со стохастическими) в сущность описываемого процесса, увеличение степени детализации. Концептуальные математические модели можно использовать в режиме реального времени. Их основными недостатками признаются допущения, основанные зачастую на субъективных представлениях разработчиков об исследуемом процессе. Данные допущения влияют на точность и достоверность результатов вычислений.

В отличие от приведенных выше, гидродинамические модели используют для описания процессов движения воды законы физики (сохранения массы, энергии и импульса), а также детальную информацию об исследуемом объекте. При постановке задачи используются термины математической физики с их строгой формулировкой, что позволяет применять при их решении общеизвестные исходные положения и значительный запас имеющихся средств математического аппарата.

При выборе типа модели необходимо учитывать требуемую степень точности и достоверности результатов расчёта, квалификацию персонала, его подготовленность к использованию той или иной модели и решению поставленной задачи. Учитываются также и степень разработанности модели и соответствующего программного комплекса, наличие необходимой начальной информации и т.п.

Основным методом расчёта волнового движения является метод характеристик. Идея этого метода принадлежит Мессею (Massau J.). Вы-

дающий вклад в развитие этого метода сделали отечественные и зарубежные учёные: С. А. Христианович, Н. Г. Мелешенко, Дж. Дж. Стокер, Хартри (Hartree D. R.), Ю. Г. Иваненко и др. [9; 11; 70].

В настоящее время при расчёте одномерного неуставившегося течения методом характеристик, применяют две основные численные схемы: сетку характеристик и схему метода характеристик на регулярной прямоугольной сетке. В методе характеристик нет жёсткой, задаваемой заранее сетки точек в плоскости переменных x , t . Определение узлов сетки является составной частью решения.

Метод характеристик обладает хорошей геометрической наглядностью, относительной простотой решения и иногда используется в качестве аналогового для сравнения с другими методами. С развитием вычислительной техники он был среди первых методов, которые использовались для численного решения различных задач неуставившегося движения воды в реках и каналах.

Схема сетки характеристик может успешно применяться для определения физических характеристик, так как сетка становится более плотной в области, в которой имеет место более быстрое изменение течения. Тем не менее, эта схема метода характеристик обладает несколькими недостатками, которые приводят к тому, что инженеры предпочитают альтернативные методы решения. По этой схеме в каждом узле характеристической сетки должны определяться не только зависимые переменные, но также и координаты x и t . Оперирование с зависимыми переменными в пространстве независимых переменных не совсем удобно для инженеров-практиков, привыкших работать с графиками $h = f_1(x)$ и $V = f_2(x)$ в различные моменты времени или же с графиками $h = f_3(t)$ и $V = f_4(t)$ при фиксированной координате. При использовании схемы сетки характеристик, для выделения выходных данных, необходимо отдельно выполнить интерполирование результатов, полученных при криволинейной сетке так, чтобы получить значения в узлах прямоугольной сетки в плоскости X , t . Эти величины можно рассматривать на фиксированном расстоянии x как зависимые от времени, и наоборот, в фиксированный момент времени как зависимые от расстояния x . В этом случае, для приведения результатов в удобный формат необходима хорошая двумерная схема интерполяции.

Для использования схемы сетки характеристик в случаях разветвлённой сети или в системах каналов, соединённых последовательно, должны одновременно решаться много внутренних граничных уравнений. Граничные условия должны быть обеспечены данными для всех точек. На практике они определяются путём интерполяции значений, известных в этих фиксированных поперечных сечениях. Применение схемы сетки характеристик затруднительно для получения результатов в предписанных значениях времени или створах [17].

Метод характеристик с решением сетки характеристик явился основой разработанной Иваненко Ю. Г., Коржовым В. И. и Ткачевым А. А. математической модели неустановившегося течения воды в системе открытых призматических каналов, соединённых последовательно [11; 23; 55]. В разработанном методе исходные дифференциальные уравнения Сен-Венана в частных производных преобразуются в эквивалентную систему обыкновенных дифференциальных уравнений характеристик. Предлагаемый численный метод решения полученных уравнений, состоит в линеаризации коэффициентов (в качестве которых принимаются линеаризованные значения мало изменяемых величин) и замене их конечно-разностными уравнениями Эйлера. Применение полученных разностных уравнений предполагает использование итерационного процесса. В методе характеристик, расчёт начальной характеристики (т.е. характеристики, представляющей в волновой плоскости кривую движения фронта волны, нарушающей первоначальный режим), заменяет задание начальных условий. В работе [10; 15] рассмотрены различные варианты изменения гидравлических характеристик в створах возмущения, перегораживающих сооружений, отражения и сопряжения.

В работе [10] приведены решения, описывающие процесс трансформации волны одного направления (законы изменения уровня воды, расхода вдоль продольной координаты), основанные на теории полного интеграла для частного случая дифференциальных уравнений Сен-Венана. Представлены исследования гидравлических переходных процессов, возникающих в реальных оросительных системах при регулировании процессов водоподачи и водораспределения.

Самые общие методы расчёта профилей водной поверхности для неуставившихся потоков воды в открытых руслах основаны на полных уравнениях, которые описывают одномерное неуставившееся течение в открытом русле. Общность решения достигается за счёт сложности вычислительных процедур, поэтому для этих методов необходимо применять ЭВМ. Решение полных уравнений даёт на выходе временной ход, как расходов, так и отметок водной поверхности на участке исследования. Перечисленные ниже методы отличаются главным образом математической схематизацией, принятой для решения уравнений.

Суть методов заключается в следующем: функции непрерывных аргументов, определяющие состояние потока, заменяют в пределах рассматриваемой области функциями, определёнными в конечном числе точек сетки. Затем частные производные заменяют отношениями приращений функции и аргумента и решается получающаяся система алгебраических разностных уравнений. Поэтому эти методы можно называть методами конечных разностей или методами сеток. При использовании метода сеток может применяться явная или неявная разностная схема.

Разностные схемы называются явными, если гидравлические переменные в любой точке на последующем временном уровне $(n + 1)$ могут быть вычислены только по данным, известным в нескольких соседних точках на предыдущем временном слое (n) . Эти схемы не приводят к системе алгебраических уравнений, поскольку расчёт для каждой точки может быть выполнен самостоятельно.

Наиболее известные схемы: схема Лакса и схема центральных разностей, известная в зарубежных исследованиях под названиями трехслойный явный метод или «чехарда», двухшаговая схема Лакса-Вендрофа. Говоря о явных схемах, нельзя не упомянуть Стокера (Stoker J.J.) [70], который вместе со своими коллегами из Нью-Йоркского университета применил один из таких методов при расчётах распространения волн паводка на реках Огайо и Миссисипи. Это была первая работа в истории вычислительной гидравлики и математического моделирования нестационарных течений в открытых руслах.

Применение явных схем к решению уравнений течения в открытых потоках, исследование их свойств описаны в [20; 32; 39; 59] авторами Грушевским М. С., Корень В. И., Кюнж Ж. А., Холли Ф. М., Вервей А. Для расчёта неустановившегося движения воды в оросительных каналах эти методы рассматривались в работах авторов – Большакова В. А., Клещевниковой Т. П., Еременко Е. В., Синельщикова В. С. [40]. Методами конечных разностей проводились расчеты переходных процессов при автоматическом регулировании водоподдачи в каналах Каховской, Фрунзенской и других оросительных систем. На основе методов сеток были разработаны программы ИГ, НИС Гидропроекта, ВНИИГиМа, СПГТУ и др.

Довольно широкое распространение в зарубежных исследованиях получили следующие схемы: неявная четырёхточечная схема Прейсмана, и неявные схемы высокого порядка или шеститочечные методы, используемые Эбботом, Ионеску и др. [63; 66; 72].

Следующая группа методов – это, так называемые, прямые методы решения исходных дифференциальных уравнений. В этом случае решения уравнений представляются в виде рядов, коэффициентами которых являются функции некоторых новых переменных. Исходя из граничных и начальных условий, определяются коэффициенты этих рядов. В результате данная задача сводится к решению алгебраических и дифференциальных уравнений. Примером является вариационный метод расчёта, представленный в работах Картвелишвили Н. А. [19], Грушевского [24].

Сейчас известно довольно много работ по расчётам неустановившегося движения воды с помощью метода конечных элементов [58]. Он не нашёл пока широкого применения при математическом моделировании задач гидродинамики рек и каналов. В гидрологическом инженерном центре США сравнительно недавно разработана программа, реализующая метод конечных элементов. Развиваются такие работы и в России [69; 71; 74; 81; 89]. Программы такого типа содержат много рабочих характеристик, аналогичных схемам неявных решений.

Различные приближенные методы расчёта неустановившегося движения воды получаются при использовании уравнения неразрыв-

ности и упрощения динамического уравнения. Наиболее известными примерами такого приёма являются методы, получившие название «диффузионной аналогии» или «конвекции-диффузии» [22] и «кинематическая волна». В первом методе пренебрегают инерционными членами в динамическом уравнении, во втором методе дополнительно пренебрегают и уклоном свободной поверхности. Модель диффузии представляет уравнение перемещения волны паводка, допускает подпорные явления и требует задания двух граничных условий и начального условия состояния потока.

Модель кинематической волны описывает изменение течения только вниз по течению и не может учитывать подпорные явления. Она требует задания одного граничного и начального условий. Понятие кинематической волны было введено Лайтхиллом и Уитхэмом в 1985 г., хотя само уравнение применялось и раньше, в том числе и отечественными исследователями. При использовании таких упрощений следует проявлять определённую осторожность, чтобы избежать возможных ошибок. Однако приближения данного типа обобщены в различных вычислительных программах и успешно применялись для моделирования распространения волн паводка в естественных речных руслах.

В заключение рассмотрения данной группы методов необходимо отметить, что получаемые с помощью ЭВМ результаты отражают физическую сторону происходящих явлений и имеют достаточную точность для магистральных, распределительных каналов оросительных систем, не говоря уже о расчётах волнового движения воды в реках (паводка). Но эти результаты могут существенно отличаться друг от друга, в зависимости от используемой разностной схемы и других особенностей программы.

Остановимся теперь на линейных методах расчета. К таким методам относятся метод малых амплитуд, метод превышений и др.

В настоящее время при разработке и исследовании оросительных систем применяют метод, основанный на теории длинных волн малой амплитуды, предложенный О. Ф. Васильев [1; 13]. Метод основан на предположении о том, что изменения параметров режима, вносимые неустойчивым движением, представляют небольшие по абсолютной

величине отклонения от некоторого установившегося движения, поэтому квадратами и произведениями этих величин можно пренебречь, как бесконечно малыми второго порядка. В результате этого, система уравнений Сен-Венана сводится к одному линейному уравнению второго порядка с постоянным коэффициентом, которое решается в виде простого гармонического колебания с некоторой частотой.

Теорию волн малой амплитуды применяли в своих исследованиях Э. Э. Маковский, В. А. Рожнов и др. [61; 62], которые для расчётов неустановившегося движения в каналах использовали специфические методы анализа устойчивости и качества процессов систем автоматического регулирования, с привлечением аналоговых машин. Авторы получили решение общего вида, которые применимы к изменению расхода по любому случайному закону, что равносильно приложению различных возмущающих действий, реально имеющих место на объектах мелиоративных систем. При создании метода преобразования уравнений проанализирована динамика распространения различных волн в разных по длине бьефах, с использованием частотных методов оценки качества переходных процессов. Разработанный метод позволил аналитически выразить все свойства распределённых процессов в каналах, такие как передача волнового расхода, изменение инерционности, затухание его во времени, наличие чистого запаздывания и т.д.

Будучи изменённым, за счёт упрощения граничных и начальных условий, он лежит в основе разработанного приближенного инженерного метода расчёта параметров волнового движения применительно к условиям бьефа ирригационного канала, который может быть использован только для предварительного определения параметров бьефа с условием их дальнейшей проверки и уточнением.

На основании исследований показано, что расчёт по методике Э. Э. Маковского даёт удовлетворительные результаты при возмущениях ΔQ до 15–20% расчётного расхода канала, и поэтому эта методика не всегда может использоваться для расчёта переходных процессов в каналах.

Основным недостатком данного метода является несоответствие основного допущения о некотором установившемся движении при

нанесении возмущения и реальными физическими явлениями, имеющими место в каналах, что даёт значительные погрешности в определении коэффициентов передаточных функций. Например, при возникновении волнового движения в канале с отсутствием воды в нём и соответствующим горизонтальным уровнем воды.

Для получения достоверной информации о параметрах установившихся и неуставившихся течений (уровнях, скоростях, расходах) на водораспределительных каналах оросительных систем, с целью обоснования инженерных решений с допустимой погрешностью вычислений, в настоящее время все чаще используются математические имитационные модели, основанные на различных предположениях, описывающих процессы с различной степенью детализации авторами – Большаковым В. А., Васильевым О. Ф., Воеводиным А. Ф., Волчковой В. В., Грушевским М. С., Иваненко Ю. Г., Маковским Э. Э., Милитеевым А. Н., Никифоровской В. С., Рогунович В. П. и др. [1; 4; 8; 11; 12; 24; 32; 61; 62; 65].

Использование математических имитационных моделей в этой области является перспективным с той точки зрения, что полевые исследования и измерения процессов, происходящих в каналах оросительных систем в натурных условиях, затруднены и достаточно дорогостоящи. Кроме того, число возможных вариантов во многих случаях превышает число реально существующих типовых объектов во много раз. Поэтому исследователи и проектировщики прибегают к численным методам математического моделирования.

Для расчёта параметров резко изменяющихся гидравлических переходных процессов, математические имитационные модели, основанные на уравнениях Сен-Венана, обычно не применяются, так как при этом могут возникнуть значительные отличия от истинных значений. Необходимость определения параметров резко изменяющихся гидравлических переходных процессов, возникает при оценке и анализе аварийных и других нестандартных ситуаций, которые нужны диспетчеру для оперативного вмешательства в технологический процесс водораспределения. Вопросам исследования резко изменяющихся течений в руслах и водотоках посвящены работы известных отечественных и зарубежных учёных – Атавина А. А.,

Гладышева М. Т., Милитеева А. Н., Шугрина С. М., Иваненко Ю. Г., Историка В. Л., Мишуева А. В., Сладкевича М. С., Селедкина А. А., Турсунова А. А. [1; 11; 14; 32; 39; 64; 67; 68; 73].

Выводы по главе 1

Анализируя развитие систем водопользования и водораспределения в речном бассейне Чирчик-Ахангаран, их научное, техническое, технологическое обеспечения можно сделать следующие выводы:

- направление исследований по автоматизации ОС, получившие интенсивное развитие с конца 60-х до 80-х годов, позволило решить значительную часть задач технического обеспечения и автоматизации локальных систем орошения. В этот период велись интенсивные разработки расходомеров различного типа для открытых потоков;
- общим направлением в развитии систем водораспределения была и остаётся, в основном, локальная автоматизация, с преобладанием тенденции оснащения водохозяйственных систем средствами водоучёта с использованием достаточно дешёвых и доступных средств и методов измерения;
- основные вопросы технологического согласования водоподачи и водопотребления для открытых систем разработаны ещё недостаточно полно. Существующие статические методы регулирования и управления технологическими процессами водораспределения и водообеспечения не решают проблем минимизации непроизводительных потерь воды. По своей сути они не могут учитывать сложные динамические процессы, которые имеют место в каналах: от магистральных до внутрихозяйственных распределителей;
- при разработке способа водоизмерения и активного управления водораспределением в основу положен принцип обеспечения полного соответствия между количеством воды, поступающей в водозабор и тем её количеством, которое потребляется в хозяйствах. Для реализации этого принципа на современных оросительных системах должна осуществляться автоматизация технологических процессов водоподачи и водораспределения;

- в настоящее время, с развитием вычислительной техники и численных методов решения задач гидравлики открытых водотоков, большие возможности приобретает математическое моделирование. В связи с этим, технологически целесообразно и экономически оправданно при исследовании сложных гидравлических переходных процессов проводить имитационные исследования на математической модели объекта. Использование математической модели позволяет получать более глубокие не только качественные, но и количественные результаты.

Глава 2. Особенности формирования и функционирования систем водоснабжения Чирчик-Ахангаранского бассейна

2.1. Водные ресурсы Чирчик-Ахангаранского бассейна

Основными источниками водных ресурсов Чирчик-Ахангаранского бассейна являются: река Чирчик, крупнейшая река Ташкентского оазиса (образуется слиянием рек Пскем, Чаткал, Коксу). Длина реки – 161 км, водосборная площадь – 14240 кв. км, режим питания: снегово-ледниковый (СЛ). Среднемноголетний годовой сток – 7,2 куб. км.

Река Чирчик на своем протяжении принимает 2 сравнительно крупных притока – реки Угам (длина – 68 км, площадь водосбора – 866 кв. км, режим питания – СЛ) и Аксакатасай (48 км; 453 кв. км, режим питания – снегово-дождевой (СД);

- река Пскем. Длина – 70 км, площадь водосбора – 2540 кв. км, режим питания: СЛ;
- река Чаткал. Длина – 223 км, площадь водосбора – 6580 кв. км, режим питания: СЛ;
- река Коксу. Длина – 57 км, площадь водосбора – 372 кв. км, режим питания: СЛ;
- река Ахангаран (Ангрен) является вторым по значению источником водообеспечения Ташкентской области. Длина 236 км, площадь водосбора – 5220 кв. км, режим питания: СД. Среднемноголетний годовой сток – 0,72 куб. км

Водные ресурсы Чирчик – Ахангаранского бассейна образуют также притоки названных рек (реки Чирчик – Каранкульсай, Гальва-сай, Акташсай и др.; реки Ахангаран – Нишбаш, Дукентсай, Карабау и др.), а также небольшие реки и саи, впадающие в водохранилища,

построенные на территории Ташкентской области (в Чарвакское водохранилище – реки Янгикурган, Наувалисай, Чимгансай, Сиджаксай и др.).

Источником водообеспечения Ташкентской области являются также воды р. Сырдарьи.

В целях регулирования стока в Чирчик-Ахангаранского бассейна, на территории Ташкентской области, построены водохранилища, перечень и основные параметры которых приведены в таблице:

Таблица 2.1.

№	Название водохранилища	Источник воды	Год ввода	Регулирование	Объем, млн. куб.м		Зеркало кв. км
					полный	полезный	
1.	Чарвак	р. Чирчик	1970	Сезонное	2006	1580	40,0
2.	Тюябугуз	р. Ахангаран	1960	Сезонное	250	220	18,4
3.	Ахангаран	р. Ахангаран	1973	Сезонное	250	183	5,3
4.	Газалкент	р. Чирчик	1980	Суточное	16	7	5,0
5.	Ходжикент	р. Чирчик	1976	Суточное	31	9	2,5

Чарвакское водохранилище является гидроузлом ирригационно-энергетического назначения, Тюябугузское – ирригационного, Ахангаранское – ирригационно-питьевого, Газалкентское и Ходжикентское водохранилища – энергетического назначения.

Наиболее развитую и сложную ирригационную инфраструктуру в ЧАКИР имеет Узбекистан (Ташкентский оазис), менее сложную – Казахстан (Келесский массив), относительно слабо развитую, в силу специфики (горная область) – Кыргызстан. Согласно достигнутым ранее договоренностям, Схеме комплексного использования и охраны водных ресурсов (КИОВР) бассейна Сырдарьи, распределение водных ресурсов Чирчик-Ахангаранского бассейна между тремя республиками, осуществляется в пропорциях: Узбекистан – около 88%, Казахстан – около 12%, Кыргызстан – менее 1% от общего объема среднесноголетнего стока рек бассейна.

Чирчик-Ахангаранским Бассейновым Управлением ирригационных систем (ЧАБУИС), по состоянию на 2017 г., обслуживается бо-

лее 386 тыс.га орошаемых земель Ташкентской области. Основными источниками воды являются реки: Чирчик, Ахангаран и Сырдарья. Водами Чирчика орошается свыше 300 тыс.га, Ахангарана – около 41 тыс.га, Сырдарьи, – около 36 тыс.га. земель. Водами родников, саев и коллекторов, орошается 7,7 тыс.га.

2.2. Существующие классификации крупных каналов

Каналами называют искусственные открытые водоводы в земляной выемке или насыпи [32]. В соответствии со СНиП 2.06.03–85 «Мелиоративные системы и сооружения», оросительные каналы делятся по пропускной способности на: очень малые – менее $1 \text{ м}^3/\text{с}$; малые – $1\text{--}10 \text{ м}^3/\text{с}$; средние – $10\text{--}50 \text{ м}^3/\text{с}$; крупные – $50\text{--}100 \text{ м}^3/\text{с}$; очень крупные – более $100 \text{ м}^3/\text{с}$.

По назначению каналы подразделяются на: оросительные, обводнительные, осушительные, энергетические, водопроводные, судоходные, лесосплавные, рыбохозяйственные, комплексные.

По способу подачи воды каналы делят на самотечные и каналы с механическим подъёмом воды (машинные).

В самотечные каналы вода поступает из источника самотеком и далее движется под действием силы тяжести. Такие каналы наиболее просты и дешевы в эксплуатации.

Каналы с механической подачей воды (машинные каналы) получают воду из источника при помощи механического ее подъема насосными станциями и дальнейшего ее движения за счёт наличия уклона или за счет образования поверхностного уклона, если дно канала горизонтальное; машинные каналы применяются в тех случаях, когда водный источник расположен ниже места потребления воды или когда проведение самотечного канала вызывает необходимость выполнения очень большого объема земляных работ [82].

По условиям работы различают устойчивые и неустойчивые каналы. К устойчивым каналам относятся те, которые сохраняют неизменные очертания поперечного сечения, продольный уклон, положение в плане. Неустойчивые каналы изменяют очертание первоначального поперечного сечения, продольный уклон, положение русла

в плане. за счёт движения наносов, которое, в свою очередь, приводит к образованию побочной, осередков, меандр и др.

По форме поперечных сечений различают каналы трапецеидальные, прямоугольные, полигональные, параболические, ложбинообразные.

2.3. Особенности функционирования крупных каналов Ташкентской области

В условиях развития отраслей экономики, на территории Ташкентской области возникает необходимость эффективного и надежного использования водных ресурсов на крупных магистральных каналах, таких как Ташкентский магистральный канал, Паркентский канал и канал Хандам. Ниже рассмотрим их основные характеристики (рис. 2.1).



Рисунок 2.1. Линейная схема Ташкентского магистрального канала, каналов Паркентского и Хандам

2.3.1. Ташкентский магистральный канал (ТМК)

Канал построен в 1940–1941 году, работы велись методом хашара. Длина канала (до разделения) составляет 61,1 км, расход воды в головном сооружении – $87 \text{ м}^3/\text{с}$, орошаемая площадь – 65000 гектаров, класс сооружения II. На трассе канала имеются участки в выемке глубиной до 13–15 м и насыпи до 10–13 м. Высота Бурджарской дамбы достигает 25 м. Канал расположен в основном в земляном русле. От-

дельные участки канала на общей длине 25.27 км имеют армобетонную облицовку, толщина которой 15–20 см. Это преимущественно участки высоких дамб и выхода галечниковых грунтов в долинах рек Ахангаран и Геджигент.

Канал берёт начало на гидроузле при впадении в Левобережный Карасу, реки Кызылсай. Непосредственно от входа Ташкентский канал течёт вправо, но немедленно пересекает русло Карасу по дюкеру и далее протекает по его левому берегу. Проходит по территории Уртачирчикского и Пскентского района в общем юго-юго-западном направлении, русло имеет множество изгибов. Посредством трёх дюкеров пересекает рукава реки Ахангаран. Течёт через город Пскент.

Таблица 2.2. – Гидравлические параметры магистрального канала

№	Участок канала	$Q_{\max}$, м ³ /с	Ширина по:		Глубина, м	Заложение откосов	Уклон	Скорость течения м/с
			дну, м	верху, м				
1.	ПК0+00 – ПК38+47	87,0	16,0	27,5	3,79	1,5	0,00014	1,14
2.	ПК38+47 – ПК321+60	84,0	15,0	27,5	3,72	1,5	0,00014	1,13
3.	ПК321+60 – ПК428+50	74,0	14,0	26,2	3,70	1,5	0,00014	1,05
4.	ПК428+50 – ПК611+14	65,0	12,0	23,4	3,08	1,5	0,00013	0,98

Головной регулятор канала входит в состав гидроузла на ПК377+25 Левобережного Карасу. Регулятор рассчитан на расход 87 м³/сек. Максимальный зафиксированный расход через сооружение – 87 м³/сек. Регулятор разделен бычками толщиной 0,8 м на шесть пролетов шириной по 1.0 м. Через пять пролетов вода забирается в канал им. Палванова, через один – в канал РК-5. Регулятор оборудуется пятью плоскими затворами и подъемными механизмами с электрическим приводом. Имеются разрушения флутбета за затворами, по всей видимости связанные с абразивным износом при

транспортировке потоком твёрдого стока, затворы в удовлетворительном состоянии, уплотнения затворов изношены (Рис. 2.2).



Рисунок 2.2. Головное сооружение ТМК на гидроузле
ПК377+25 Левобережного Карасу

В геоморфологическом отношении территория Ташкентского магистрального канала расположена в левобережье р. Чирчик на III надпойменной террасе и представляет собой слабонаклонную, слабовсхолмленную равнину, прорезанную суходолами и саями. В геологическом строении участвуют пролювиально-аллювиальные суглинки Ташкентского комплекса. В геолого-литологическом строении принимают участие отложения четвертичного возраста, представленные покровными суглинками. Мощность суглинков от 10 и более метров. По данным геологических и гидрогеологических исследований проведенных институтом «Узсувлойдха» в 2013 г. по объекту РП «Реконструкция системы каналов левой ветки Ташканала для повышения водообеспеченности земель Бекабадского района ташкентской области» грунты, слагающие проектируемый объект, представлены суглинками, грунты среднепросадочные (II тип) и в местах пересечения с естественными водотоками – галечниками. Грунтовые воды залегают на глубине 3,2–4,0 от поверхности земли.

2.3.2. Паркентский магистральный канал (ПМК)

Канал проходит по территории Бостанлыкского, Паркентского, Юкори-Чирчикского и Ахангаранского районов Ташкентской области. Канал предназначен для орошения земель на площади 30,3 тыс. га в предгорной зоне Ташкентской области. Канал относится к сооружениям II класса, водозабор осуществляется из реки Чирчик.

Генеральный проектировщик институт «Узгипроводхоз». Генеральный подрядчик- Трест «Паркентводстрой» МСВХ.

Строительство канала велось в две очереди. Первая очередь, протяженностью 69 км от ПК0 до ПК689+68 – была построена в период с 1975 по 1983 гг. Вторая очередь канала на участке от ПК689+68 (Кызылсай) до ПК832+58 (Беляутсай) протяженностью 14,3 км, построена в 1988–1997 гг. Участок от ПК832+58 до ПК856+10 принят в эксплуатацию в 1998 году. Конечный участок от ПК856+10 до ПК885+90 находится в стадии строительства.

Канал проходит по левобережью долины р. Чирчик, в сложных рельефных и геологических условиях. На отдельных участках выемка достигает 30–40 м, насыпь 20 м. По трассе распространены глинистые, крупнообломочные, полускальные и скальные породы. Глинистые породы представлены тяжелыми и лессовидными суглинками, а также глинами. Крупнообломочные породы – галечниками, валунно-галечниками, щебнями и дресвой. Полускальные породы представлены алевролитами, скальные – известняками и сиенитами.

Эксплуатация канала и сооружений на нем осложняется тем, что по трассе канала располагаются сильно просадочные грунты, представленные лессовидными суглинками.

Таблица 2.3. – Основные характеристики канала

№ п/п	Участок канала	Максимальный расход, м ³ /с	Ширина по дну, м	Глубина, м	Заложение откосов
1.	ПК0+58 – ПК371+70	57,0–51,0	7,0–6,0	3,57–3,82	1,5
2.	ПК341+70 – ПК600+38	30,5–21,0	4,5–3,5	3,57–3,21	1,5
3.	ПК600+38 – ПК793+70	16,0–14,3	3,0	2,76–2,59	1,5
4.	ПК793+70 – ПК873+17	10,4–7,0	2,5–2,0	2,36–2,06	1,5
5.	ПК873+17 – ПК882+35	7,0	4,0	2,30–2,06	0,0
6.	ПК882+35 – ПК886+20	7,0–4,0	Ø 1,02	—	дюкер

Русло канала на участке ПК0 – ПК341+70 и ПК873+17-ПК886+20 выполнено в бетонной облицовке, остальная часть проходит в основном в земляном русле.

Канал эксплуатируется Управлением ирригационной системы Паркент-Карасу при Чирчик-Ахангаранском бассейновом управлении ирригационных систем (БУИС).

Головной регулятор на ПК 0+00 Паркентского Магистрального канала введен в эксплуатацию в 1983 году, скомпонован совместно с головным регулятором каскада Чирчикских ГЭС (Газалкентского гидроузла) на реке Чирчик и представляет собой сооружение с боковым (левобережным) забором воды из реки Чирчик.



Рисунок 2.3. – Головной регулятор на ПК 0 + 00
Паркентского магистрального канала

Головной регулятор Паркентского Магистрального канала рассчитан на пропуск максимального расхода воды $57,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Сооружение выполнено из монолитного железобетона с двумя отверстиями $B \times H = 5,0 \times 3,6 \text{ м}$. Перекрытие отверстий предусмотрено аварийно-ремонтными и рабочими плоскими колесными затворами с 2-х винтовыми подъёмными механизмами на электрическом приводе. Отводящий канал выполнен из монолитного ж/бетона с вертикальными стенками.

2.3.3. Канал Хандам

Годы строительства канала 1928–1932 гг. Эксплуатация канала была начата с 1932 года. Проектная документация по сооружениям и по каналу хранится в УИС Паркент-Карасу. Нормальный расход в голове канала – $25 \text{ м}^3/\text{сек}$, максимальный $31 \text{ м}^3/\text{сек}$., Общая

протяженность – 74,0 км, в том числе в бетонной облицовке 55,9 км. Трасса канала проходит в предгорной равнине со сложным рельефом и поэтому очень извилиста в плане.

В 1970 г. по инициативе областных организаций проведена коренная реконструкция канала. Хандам командует в правую сторону, заканчивается включением в действующий канал Ходжабалянд оросительной системы р. Ахангаран.

Канал Хандам – очень сложное гидротехническое сооружение. В продольном профиле канала выемки чередуются с насыпями. Глубина выемок достигает 25 м, максимальная высота насыпи около 30 м.

Таблица 2.4. – Основные характеристики канала

№	Участок канала	Макс. расход, м ³ /с	Ширина по дну, м	Ширина по верху, м	h, м	i	v, м/с
1.	ПК 0+00 – ПК 270+00	31	4	12	1,7	0,0018	2,67
2.	ПК 270+00 – ПК 470+00	25	3	9,9	2,1	0,0007	1,8
3.	ПК 470+00 – ПК 740+00	20,2	3	11,4	2,1	0,0005	1,1

Канал эксплуатируется Управлением ирригационной системы «Паркент-Карасу» при Бассейновом управлении ирригационных систем (БУИС) «Чирчик-Ахангаран».

Головной водозабор на ПК 0+00 осуществляется через гидроузел ПК 26 канала левого берега Карасу, который был построен в 1970 году для гарантированного забора воды в канал Хандам.

Головной регулятор канала Хандам с левобережным забором воды входит в состав гидроузла, расположенного на ПК 26+00 Левобережного Карасу. Построен в 1970 году. Регулятор рассчитан на максимальный расход 38,0 м³/сек. Сооружение из монолитного железобетона с одним пролетом шириной 5,0 м, перекрываемого поверхностным плоским колесным затвором размером 5,0 × 2,5 м. Маневрирование затвором осуществляется при помощи 2-х винтового подъемного механизма с электрическим приводом. Управление местное.



Рисунок 2.4. Техническое состояния канала

Основные размеры сооружения:

- Отметка гребня: 561.10м;
- Ширина по гребню 11,4 м;
- Общая длина сооружения 45,4 м;
- Максимальная ширина по основанию 6,0 м;
- Наибольшая высота 6,4 м;
- Ширина пролета 5,0 м.

Головной регулятор открытого типа, со служебным мостиком и блоками автодорожного моста. Соединен с перегораживающим сооружением береговым вертикальным устоем. Перед регулятором на понурном участке предусмотрен наносозадерживающий порог высотой 1,0 м. Сопряжение регулятора с левым берегом со стороны верхнего бьефа осуществляется с помощью ныряющей подпорной стенки с ж/бетонным откосом переменного заложения. Аналогичное сопряжение с бортами канала предусмотрено и со стороны нижнего бьефа.

Водобойный участок включает водоскат с гасителями, расположенными за щитовой секцией и рисберму с переходным участком, выполненным из бетона. Перепад горизонтов воды между верхним и нижним бьежами 2,45 м. Грунты основания: суглинки.

2.4. Натурные исследования состояния надежности и эффективности крупных каналов Ташкентской области

В процессе длительной эксплуатации Ташкентского магистрального канала, каналов Паркентского и Хандам, серьезной проблемой является потеря их гидравлической эффективности и надежности, под которыми будем понимать обеспечение высокой пропускной способности, близкой к проектной, при минимальных потерях воды, не превышающих допустимые значения.

Потеря гидравлической эффективности и надежности будут непосредственно связаны со снижением пропускаемых расходов по каналам и коэффициентов полезного действия, которые характеризуют как гидравлические показатели, так и потери воды, главным образом, на фильтрацию из их русел.

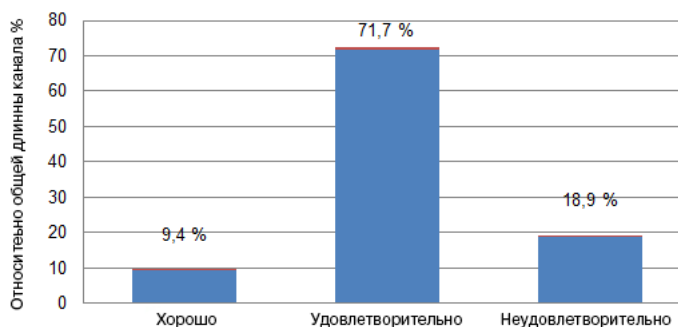
В свою очередь, гидравлическая эффективность и надежность будут зависеть от технического состояния каналов, ухода за ними и режимов эксплуатации.

На примере вышеуказанных каналов рассмотрим вопросы гидравлической эффективности и надежности отдельно для каждого из этих каналов.

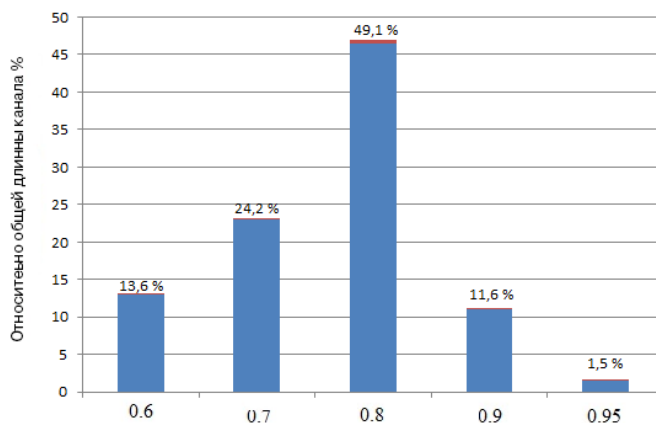
2.4.1. Ташкентский магистральный канал

На (рис 2.5 а) приведены общие данные о состоянии надежности Ташкентского магистрального канала, из которых следует, что в хорошем состоянии находится только 9,4%, в удовлетворительном состоянии – 71,7%, а в неудовлетворительном состоянии – 18,9%.

Отсюда 18,9% канала характеризуется плохим техническим состоянием, и, соответственно, недостаточной пропускной способностью и необходимостью проведения капитальных и текущих ремонтов, а также их реконструкции.



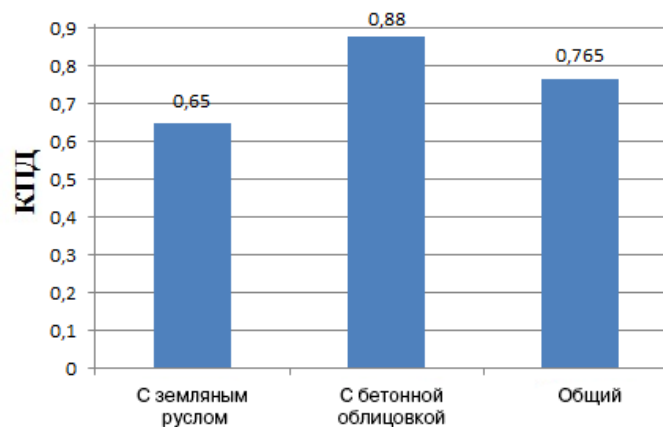
а) техническое состояние



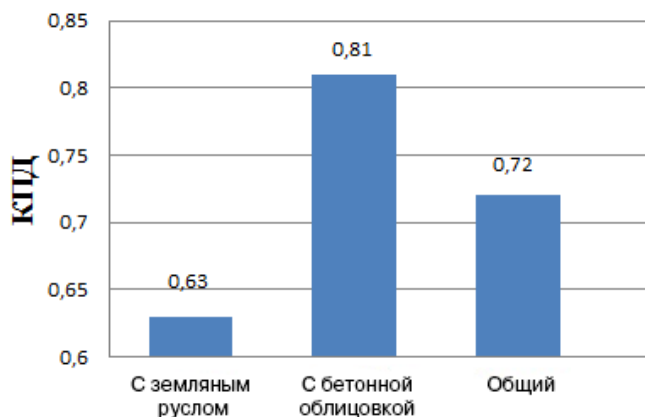
б) коэффициент полезного действия

Рисунок 2.5 Техническое состояние
Ташкентского магистрального канала

Другая гистограмма, показанная на (Рис. 2.6) свидетельствует о том, что магистральный канал и распределительные каналы (около 88%) имеют КПД от 0,63 до 0,88 и только 12% – от 0,90 и выше. Как известно, согласно СНиП2.06.03.– 85, нормативное значение КПД магистральных и распределительных каналов должно составлять не менее 0,90. Поскольку КПД характеризует, как пропускную способность, так и потери воды при эксплуатации каналов, то можно считать, что подавляющее большинство каналов имеет низкую или недостаточную гидравлическую эффективность и надежность.



а) магистральный канал

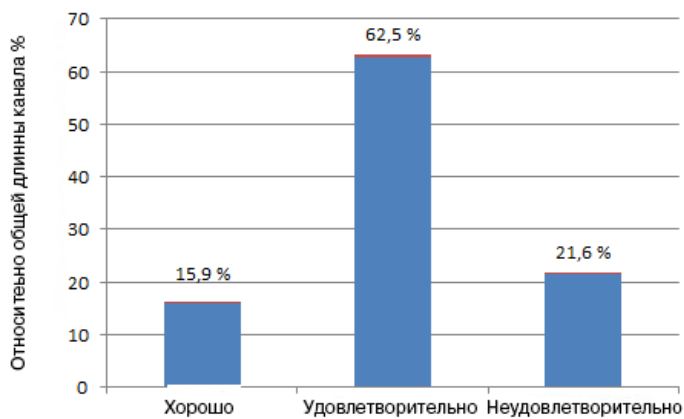


б) распределительных каналов

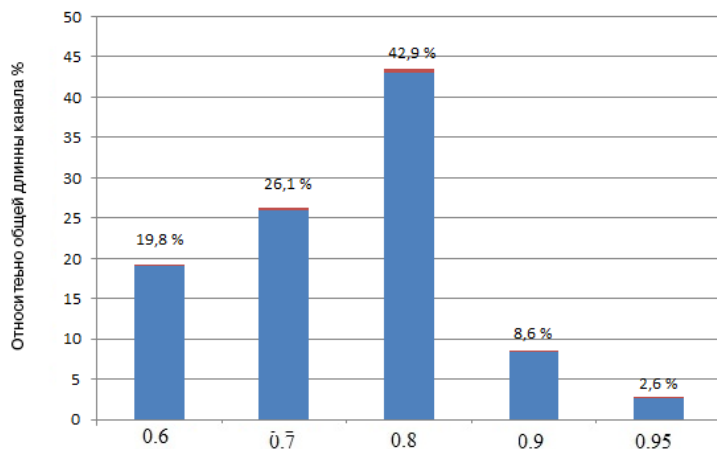
Рисунок 2.6. Коэффициент полезного действия Ташкентского магистрального канала и отводящих оросительных систем

2.4.2. Паркентский канал

Из гистограммы видно, что в хорошем состоянии находится только 15,9%, в удовлетворительном состоянии – 62,5%, а в неудовлетворительном состоянии – 21,6%.



а) техническое состояние

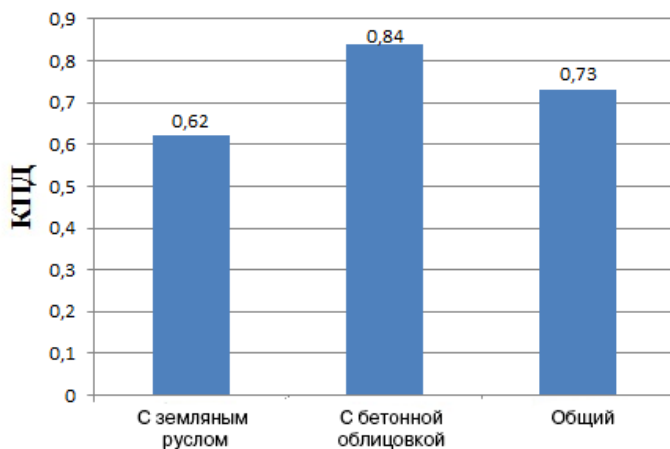


б) коэффициент полезного действия

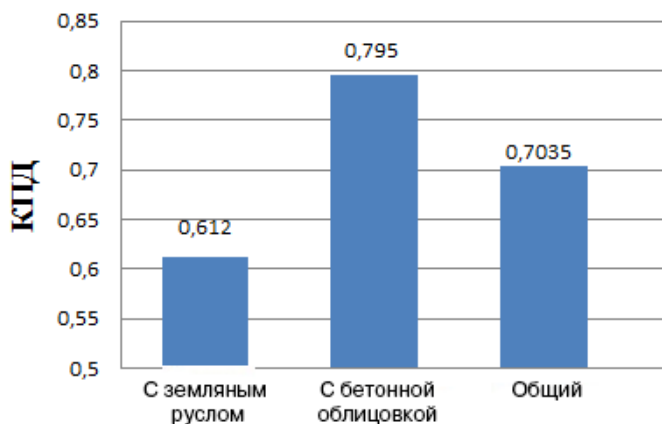
Рисунок 2.7. Техническое состояние Паркентского канала

Отсюда 21,6% канала характеризуется плохим техническим состоянием, и соответственно недостаточной пропускной способностью, что показывает необходимость проведения капитальных и текущих ремонтов, а также их реконструкции.

Другая гистограмма на рис 2.8 свидетельствует о том, что магистральный канал и распределительные каналы имеют КПД от 0,61 до 0,84. КПД характеризует состояние надежности канала.



а) магистральных канал

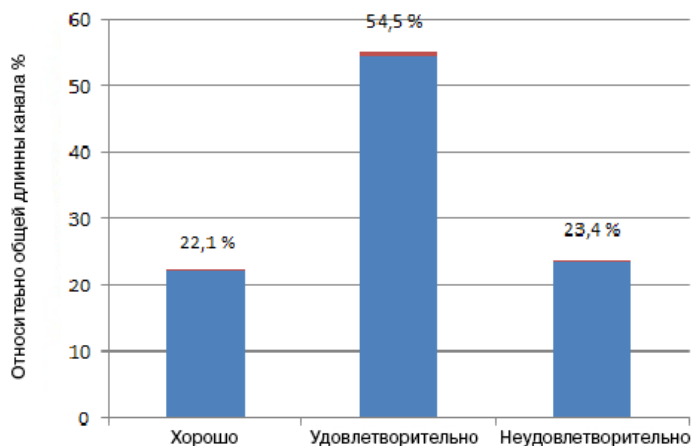


б) распределительных каналов

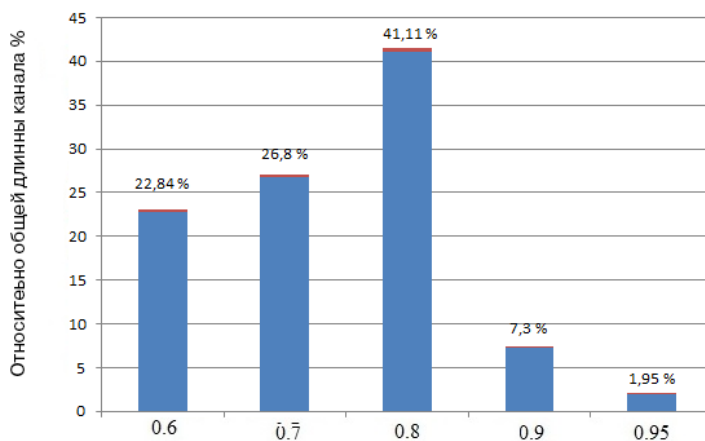
Рисунок 2.8. Коэффициент полезного действия Паркентского канала и отводящих оросительных систем

2.4.3. Канал Хандам

Из гистограммы видно, что в хорошем состоянии находится только 22,1%, в удовлетворительном состоянии – 54,5%, а в неудовлетворительном состоянии – 23,4% протяженности канала.



а) техническое состояние



б) коэффициент полезного действия

Рисунок 2.9. Техническое состояние канала Хандам

Отсюда 23,4% канала характеризуется плохим техническим состоянием, и соответственно, недостаточной пропускной способностью, и необходимостью проведения капитальных и текущих ремонтов, а также их реконструкции.

Другая гистограмма на (Рис. 2.10) свидетельствует о том, что магистральный канал и распределительные каналы имеют КПД, характеризующий состояние надежности канала, от 0,61 до 0,80.

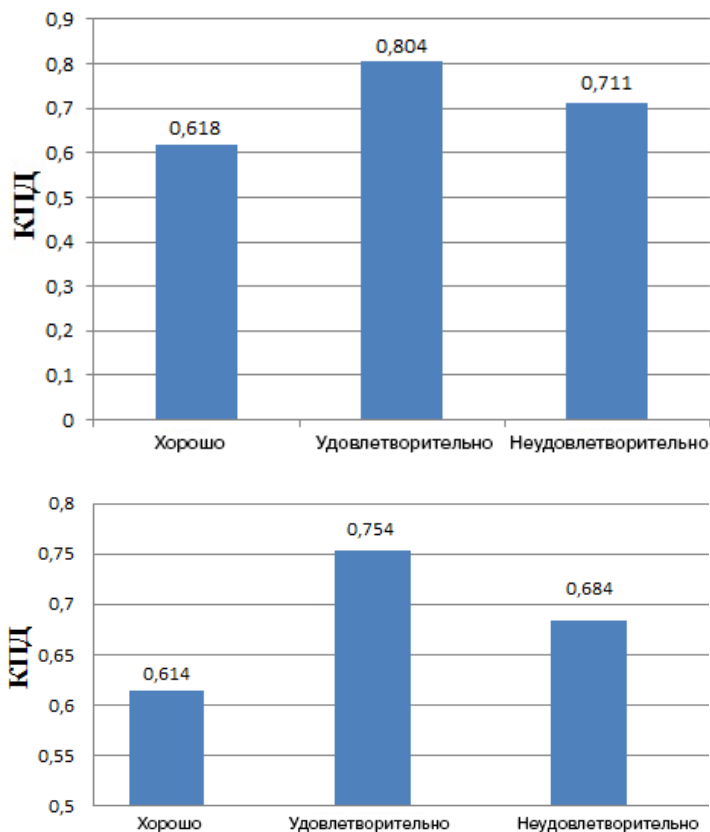


Рисунок 2.10. Коэффициент полезного действия канала Хандам и отводящих оросительных систем

Среди основных эксплуатационных факторов, влияющих на работоспособность как каналов в земляном русле, так и в облицовке особенно следует выделить зарастание русел водной растительностью, размывы и различные деформации их русел, заиление, несвоевременный уход и ремонт каналов, разрушение плит и швов облицовок которые в значительной степени влияют на их гидравлическую эффективность и надежность.

Примерами с характерными условиями снижения гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности обследованных каналов являются магистральные каналы Паркентский и Хандам,

где на части в земляном русле, – наблюдается значительное зарастание водной растительностью, а на облицованной части канала – заилиение и образование водорослей.

Результаты натурных исследований о фактических значениях КПД каналов оросительных систем показал, что среднее значение КПД магистральных каналов составляет 0,829, что на 7% ниже минимальных требований СНиП. При этом КПД магистральных каналов в земляном русле составляет 0,790, что уже на 11% ниже требований СНиП, а для каналов в облицовке средний КПД равен 0,870, что также ниже требуемого значения для облицованных каналов по рекомендациям СНиП – на 8–10%.

Что касается распределительных каналов оросительных систем (рис.. 6) средний их КПД составляет 0,735, что на 19% ниже минимальных требований СНиП. Для каналов в земляном русле средний КПД равен 0,629, что на 29,2% ниже минимальных требований, а для каналов в облицовке – 0,813, что на 16% ниже минимальных требований. Таким образом, использование воды на орошение составляет 1864 млн. м³/год, что при среднем КПД оросительных каналов, потери в них составят 19%, а суммарный объем потерь – 354,2 млн. м³/год.

На основе проведенного анализа и проведенных исследований можно отметить следующие проблемы гидравлической эффективности и надежности оросительных каналов.

– При эксплуатации каналов Паркентского $\left(Q_{cp} = 20,8 \frac{м^3}{с} \right)$ и Хандам $\left(Q_{cp} = 25,4 \frac{м^3}{с} \right)$, возникают дополнительные гидравлические сопротивления в руслах, обусловленные, главным образом заилиением канала, что приводит к существенному снижению их пропускной способности.

– В Ташкентском магистральном канале, с расходами более 50 м³/с, превалирующими факторами могут быть различные деформации русел (размыв), которые приводят к снижению надежности канала.

– В связи со снижением гидравлической эффективности русел каналов, в процессе их эксплуатации необходимы: соблюдение режимов подачи воды, обеспечение надлежащего их технического

состояния, разработка и реализация организационно-технических и ремонтных мероприятий, направленных на повышение их эксплуатационной надежности и КПД.

2.5. Методика фильтрационного расчёта крупных магистральных каналов

Теоретические основы методов расчёта фильтрационных сопротивлений рассматривались в работах В.М. Шестакова [58], А.Я. Олейника [36] и других авторов.

При фильтрационных расчётах дренажа, каналов и других сооружений широко применяется метод фильтрационных сопротивлений, позволяющий во многих случаях без особого снижения точности инженерных расчётов схематизировать сложные течения потоков и представлять их в виде, удобном для приложений [88].

Основные принципы метода фильтрационных сопротивлений заключаются в следующем: влияние зон резкой деформации фильтрационных потоков, характеризующее падением уровня (напора) в них, может быть учтено фильтрационными сопротивлениями путём замены несовершенных границ совершенными, эквивалентными по фильтрационному расходу и картине фильтрации на некотором удалении от рассматриваемой границы. При такой замене, зоны резко изменяющейся фильтрации, исключаются из рассмотрения, а на расстоянии мощности слоя грунта основания образуется плановый поток с распределением напоров, соответствующих совершенным границам, доведённым до водоупора. Это существенно облегчает разработку методов фильтрационных расчётов дренажа, каналов, водоёмов, противофильтрационных завес и гидротехнических сооружений.

Расчётные зависимости для различных фильтрационных сопротивлений находят с помощью гидромеханических решений отдельных локальных задач, а их значения путём лабораторных и натурных исследований. В схемах фильтрации, например, из канала учёт сопротивления на его несовершенство практически сводится к удалению пути фильтрации, в более сложных схемах к вводу этого сопротивления в граничные условия решаемой задачи.

Методика расчёта установившейся фильтрации заключается в том, для определения удельного одностороннего расхода из канала в земляном русле используется известная формула:

$$q_k = T \frac{\bar{h}_k}{\Phi_k + \sqrt{\frac{Tz_*}{\varepsilon_{II}}}},$$

где: T – средняя проводимость водоносной толщи, м² сут;

$\bar{h}_k$ – разность уровней воды в канале и уровня грунтовых вод, м;

Φ_k – фильтрационное сопротивление на гидродинамическое несовершенство канала, м.

В случае канала в облицовке расчётная зависимость удельного одностороннего фильтрационного расхода примет вид:

$$q_k = T \frac{\bar{h}_k}{\Phi_k + \Phi_{obl} + \sqrt{\frac{Tz_*}{\varepsilon_{II}}}}$$

где Φ_{obl} – дополнительное фильтрационное сопротивление на облицовку канала, м. В вышеприведённых зависимостях согласно [97] принято

$$T = k \left(h_* + \frac{\bar{h}_k}{2} \right); \quad \bar{h}_k = h_k - h_*; \quad \Phi_k = \Phi'_k + 2\Phi''_k; \quad \Phi'_k = h_k f'_k; \quad \Phi''_k = h_k f''_k;$$

$$f'_k = \frac{B_k}{2h_k} - 1.466 \lg \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi B_k}{4m} \right); \quad f''_k(m) = 0.7333 \lg \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi B_k}{4h_k} \right);$$

k – коэффициент фильтрации грунта основания.

Дополнительное сопротивление облицовки канала можно определить по уточнённой в п. 3.4 формуле:

$$\Phi_{obl} = f_{obl} B_k = \frac{k}{k'_{obl}} \delta_0, \quad \text{где: } f_{obl} = \frac{k}{k'_{obl}} \frac{\delta_0}{B_k},$$

Глубину грунтовых вод вблизи канала определяем по формуле:

$h = h_* + h'_k e^{-\bar{x}}$ – для канала в земляном русле $h'_k = h'_k - \frac{q_k}{T} \Phi_k$, для канала в облицовке

$$h'_k = h'_k - \frac{q_k}{T} (\Phi_k + \Phi_{obl}) = \frac{h'_k}{a(\Phi_k + \Phi_{obl}) + 1}$$

В случае двухслойного грунта расчёт фильтрационного расхода проводим по формулам (3.22) или (3.23), для определения некоторых параметров используем:

$$T = k_1 \left(h_* + \frac{\bar{h}_k}{2} \right) + k_2 m_2,$$

где k_1, k_2 – коэффициенты фильтрации грунта первого и второго слоёв;
 m_2 – мощность второго слоя грунта.

2.5.1. Расчёт фильтрации из Ташкентского магистрального канала

Для расчёта фильтрации из канала используются следующие натурные данные: (ПК38+48 – ПК321+60):

- глубина воды в канале $h_0 = 3,54$ м;
 - ширина канала по узеру воды $B_k = 27,2$ м;
 - ширина канала по дну $b = 14$ м;
 - глубина от воды в канале до подошвы первого слоя $h_k = 10$ м;
 - мощность второго слоя грунта, $m_2 = 20$ м;
 - мощность естественного уровня грунтовых вод до подошвы первого слоя $h_* = 5$ м;
 - коэффициент фильтрации первого слоя основания (суглинки с щебенистыми прослоями) $k_1 = 0,5$ м/сут;
 - коэффициент фильтрации второго слоя основания (щебенистыми прослоями) $k_2 = 5$ м/сут;
 - ξ_0, ζ_0 – поправочные коэффициенты;
 - критическая глубина грунтовых вод, при испарение $E = 0$;
 - $z_0 = 2,1$ м;
 - интенсивность испарения с поверхности земли $\varepsilon_n = 0,003$ м/сут;
- А) Для определения удельного одностороннего расхода из канала в земляном русле используем формулу:

$$q_k = T \frac{\bar{h}_k}{\Phi_k + \sqrt{\frac{Tz_*}{\varepsilon_n}}} = 1.12 \text{ м}^2/\text{сут}, \quad \bar{h}_k = h_k - h_* = 10 - 5 = 5 \text{ м},$$

$$T = k_1 \left(h_* + \frac{\bar{h}_k}{2} \right) + k_2 m_2 = 105 \text{ м}^2/\text{сут}, \quad \Phi_k = \Phi'_k + 2\Phi''_k = 194.5 \text{ м},$$

$$\Phi'_k = \xi_0 \frac{k_2}{k_1} m f'_k(m) + \frac{k_1 - k_2}{k_1} m_1 f'_k(m_1) = 13.06 \text{ м}, \quad m = h_k + m_2 = 30 \text{ м},$$

$$m_1 = h_k,$$

$$f'_k(m) = \frac{B_k}{2m} - 1.466 \lg \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi B_k}{4m}\right) = 0.4533,$$

$$f'_k(m_1) = \frac{B_k}{2m_1} - 1.466 \lg \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi B_k}{4m_1}\right) = 0.7766,$$

$$\Phi''_k = \varsigma_0 \frac{k_2}{k_1} m f''_k(m) + \frac{k_1 - k_2}{k_1} m_1 f''_k(m_1) = 90.72 \text{ м},$$

$$f''_k(m) = 0.733 \lg \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi B_k}{4m}\right) = 0.156,$$

$$f''_k(m_1) = 0.733 \lg \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi B_k}{4m_1}\right) = 0.156, \quad Q_\phi = 2q_k = 2.224 \text{ м}^2/\text{сут},$$

$$\chi = b + 2h_0 \sqrt{1 + m^2} = 26.76 \text{ м}, \quad Q_{\phi 1 \text{ м} 2} = \frac{Q_\phi}{\chi} = 83.09 \text{ л/сут} \cdot \text{м}^2$$

Б) Расчёт подпертой установившейся фильтрации из канала с противофильтрационной облицовкой. В случае канала в облицовке, используется расчётная зависимость удельного одностороннего фильтрационного расхода.

$$q_k = T \frac{\bar{h}_k}{\Phi_k + \Phi_{\text{обл}} + \sqrt{\frac{Tz_*}{\varepsilon_{\Pi}}}}$$

Расчёт параметров $\bar{h}_k$, T , Φ_k определен в предыдущих вычислениях. Дополнительное фильтрационное сопротивление на облицовку канала, $\Phi_{\text{обл}}$, определяется по формуле (3,24). Толщина облицовки, δ_0 , во всех представленных расчётах принимается равной 0,06 м.

$$K_{\text{обл}} = 0.0013 \text{ м/сут}, \quad \Phi_{\text{обл}} = \frac{k_1}{k'_{\text{обл}}} \delta_0 = 23.1 \text{ м},$$

$$q_k = T \frac{\bar{h}_k}{\Phi_k + \Phi_{\text{обл}} + \sqrt{\frac{Tz_*}{\varepsilon_{\Pi}}}} = 0.96 \text{ м}^2/\text{сут},$$

$$Q_{\phi} = 2q_k = 1.9 \text{ м}^2/\text{сут}, \quad x = b + 2h_0\sqrt{1+m^2} = 26.76 \text{ м}, \quad Q_{\phi 1 M 2} = \\ = \frac{Q_{\phi}}{x} = 71.81 \text{ л/сут} \cdot \text{м}^2$$

Эффективность использования облицовки определяется по формуле:

$$K_{\text{обл}} = \frac{Q_{\phi. \text{зем}}}{Q_{\phi. \text{обл}}} = 1.15$$

Геосинтетическая облицовка

$$K_{\text{обл}} = 0.00000864 \text{ м/сут}, \quad \Phi_{\text{обл}} = \frac{k_1}{k'_{\text{обл}}} \delta_0 = 3472 \text{ м},$$

$$q_k = T \frac{\bar{h}_k}{\Phi_k + \Phi_{\text{обл}} + \sqrt{\frac{Tz_*}{\varepsilon_{\Pi}}}} = 0.603 \text{ м}^2/\text{сут}, \quad Q_{\phi} = 2q_k = 1.2 \text{ м}^2/\text{сут},$$

$$\chi = b + 2h_0\sqrt{1+m^2} = 26.76 \text{ м}, \quad Q_{\phi 1 M 2} = \frac{Q_{\phi}}{\chi} = 45.09 \text{ л/сут} \cdot \text{м}^2,$$

$$K_{\text{обл}} = \frac{Q_{\phi. \text{зем}}}{Q_{\phi. \text{обл}}} = 1.85$$

2.5.2. Расчёт фильтрации из канала Хандам

Для расчёта фильтрации из канала используются следующие натурные данные: (ПК671 – ПК740):

- глубина воды в канале $h_0 = 1,2 \text{ м}$;
- ширина канала по урезу воды $B_k = 8,4 \text{ м}$;
- ширина канала по дну $b = 3 \text{ м}$;
- глубина от воды в канале до подошвы первого слоя $h_k = 10 \text{ м}$;
- мощность второго слоя грунта $m_2 = 17 \text{ м}$;
- мощность естественного уровня грунтовых вод до подошвы первого слоя $h_* = 5 \text{ м}$;
- коэффициент фильтрации первого слоя основания (суглинки с щебнистыми прослоями) $k_2 = 5 \text{ м/сут}$;
- критическая глубина грунтовых вод, при испарении $E=0, z_0=2,1 \text{ м}$;
- интенсивность испарения с поверхности земли $\varepsilon_n = 0,003 \text{ м/сут}$;

А) Расчёт подпёртой установившейся фильтрации из канала при отсутствии облицовки. Для определения удельного одностороннего расхода из канала в земляном русле используем формулу (3,22)

$$q_k = T \frac{\bar{h}_k}{\Phi_k + \sqrt{\frac{Tz_*}{\varepsilon_{II}}}} = 0.304 \text{ м}^2/\text{сут}, \bar{h}_k = h_k - h_* = 10 - 5 = 5 \text{ м},$$

$$T = k_1(h_* + \frac{\bar{h}_k}{2}) + k_2 m_2 = 90 \text{ м}^2/\text{сут}, \Phi_k = \Phi'_k + 2\Phi''_k = 1128 \text{ м},$$

$$\Phi'_k = \xi_0 \frac{k_2}{k_1} m f'_k(m) + \frac{k_1 - k_2}{k_1} m_1 f'_k(m_1) = 10.35 \text{ м}, m = h_k + m_2 = 27 \text{ м}, m_1 = h_k,$$

$$f'_k(m) = \frac{B_k}{2m} - 1.466 \lg \operatorname{ctg}(\frac{\pi B_k}{4m}) = 0.155, f'_k(m_1) = \frac{B_k}{2m_1} - 1.466 \lg \operatorname{ctg}(\frac{\pi B_k}{4m_1}) = 0.163,$$

$$\Phi''_k = \varsigma_0 \frac{k_2}{k_1} m f''_k(m) + \frac{k_1 - k_2}{k_1} m_1 f''_k(m_1) = 609 \text{ м}, f''_k(m) = 0.733 \lg \operatorname{ctg}(\frac{\pi B_k}{4m}) = 0.455,$$

$$f''_k(m_1) = 0.733 \lg \operatorname{ctg}(\frac{\pi B_k}{4m_1}) = 0.081, Q_\phi = 2q_k = 0.608 \text{ м}^2/\text{сут},$$

$$\chi = b + 2h_0 \sqrt{1 + m^2} = 7.326 \text{ м}, Q_{\phi 1 \text{ м} 2} = \frac{Q_\phi}{\chi} = 82.9 \text{ л/сут}^* \text{ м}^2.$$

Б) Расчёт подпертой установившейся фильтрации из канала с противофильтрационной облицовкой. В случае канал в облицовке используется расчётная зависимость удельного одностороннего фильтрационного расхода.

$$q_k = T \frac{\bar{h}_k}{\Phi_k + \Phi_{обл} + \sqrt{\frac{Tz_*}{\varepsilon_{II}}}}$$

Расчёт параметров $\bar{h}_k$, T , Φ_k определены в предыдущих вычислениях. Дополнительное фильтрационное сопротивление на облицовку канала, $\Phi_{обл}$, определяется по формуле (3,24). Толщина облицовки δ_0 , во всех представленных расчёта принимается равной 0,06 м,

$$K_{обл} = 0.0013 \text{ м/сут}, \Phi_{обл} = \frac{k_1}{k'_{обл}} \delta_0 = 23.1 \text{ м},$$

$$q_k = T \frac{\bar{h}_k}{\Phi_k + \Phi_{обл} + \sqrt{\frac{Tz_*}{\varepsilon_{II}}}} = 0.29 \text{ м}^2/\text{сут}, Q_\phi = 2q_k = 0.599 \text{ м}^2/\text{сут},$$

$$\chi = b + 2h_0\sqrt{1+m^2} = 7.326 \text{ м}, \quad Q_{\phi 1 \text{ м}^2} = \frac{Q_{\phi}}{\chi} = 81.7 \text{ л/сут}^* \text{ м}^2.$$

Эффективность использования облицовки определяется по формуле:

$$K_{\text{обл}} = \frac{Q_{\phi.зем}}{Q_{\phi.обл}} = 1.014$$

Геосинтетическая облицовка

$$K_{\text{обл}} = 0.00000864 \text{ м/сут}, \quad \Phi_{\text{обл}} = 3472 \text{ м},$$

$$q_k = T \frac{\bar{h}_k}{\Phi_k + \Phi_{\text{обл}} + \sqrt{\frac{Tz_*}{\varepsilon_{\Pi}}}} = 0.091 \text{ м}^2/\text{сут},$$

$$Q_{\phi} = 0.182 \text{ м}^2/\text{сут}, \quad \chi = 7.326 \text{ м}, \quad Q_{\phi 1 \text{ м}^2} = \frac{Q_{\phi}}{\chi} = 24.81 \text{ л/сут}^* \text{ м}^2,$$

$$K_{\text{обл}} = \frac{Q_{\phi.зем}}{Q_{\phi.обл}} = 3.34.$$

2.5.3. Расчёт фильтрации из канала Паркент

Для расчёта фильтрации из канала используются следующие натурные данные (ПК 793+70 – ПК 873+17):

- глубина воды в канале $h_0 = 2,21 \text{ м}$;
- ширина канала по урезу воды $B_k = 9 \text{ м}$;
- ширина канала по дну $b = 2,5 \text{ м}$;
- глубина от уреза воды в канале до подошвы первого слоя $h_k = 10 \text{ м}$;
- мощность второго слоя грунта $m_2 = 18 \text{ м}$;
- мощность естественного уровня грунтовых вод до подошвы первого слоя $h_* = 5 \text{ м}$;
- коэффициент фильтрации первого слоя основания (суглинки с щебнистыми прослоями) $k_1 = 0.5 \text{ м/сут}$;
- коэффициент фильтрации второго слоя основания (щебнистыми прослоями) $k_2 = 5 \text{ м/сут}$;
- критическая глубина грунтовых вод, при испарении $E = 0$, $z_0 = 2,0 \text{ м}$;
- интенсивность испарения с поверхности земли $\varepsilon_n = 0,003 \text{ м/сут}$.

А) Расчёт подпёртой установившейся фильтрации из канала при отсутствии облицовки. Для определения удельного одностороннего расхода из канала в земляном русле используем формулу (3,22)

$$q_k = 0.567 \text{ м}^2/\text{сут}, \bar{h}_k = 5 \text{ м}, T = 95 \text{ м}^2/\text{сут}, \Phi_k = \Phi'_k + 2\Phi''_k = 585.9 \text{ м}$$

$$\Phi'_k = 15.45 \text{ м}, m = h_k + m_2 = 28 \text{ м}, m_1 = h_k, f'_k(m) = 0.1607,$$

$$f'_k(m) = 0.1333 \quad \Phi'_k = 285.8 \text{ м}, \quad f''_k(m) = 0.455, \quad f''_k(m) = 0.282,$$

$$Q_D = 1.094 \text{ м}^2/\text{сут}, x = 10.67 \text{ м}, Q_{\phi 1 M 2} = 107.8 \text{ л/сут} \cdot \text{м}^2$$

Б) Расчёт подпертой установившейся фильтрации из канала с противифльтрационной облицовкой. В случае канала в облицовке, используется расчётная зависимость удельного одностороннего фильтрационного расхода.

$$q_k = T \frac{\bar{h}_k}{\Phi_k + \Phi_{обл} + \sqrt{\frac{T_{z*}}{\varepsilon_{II}}}}$$

Расчёт параметров $\bar{h}_k$, T , Φ_k определены в предыдущих вычислениях. Дополнительное фильтрационное сопротивление на облицовку канала, определяется по формуле (3,24). Толщина облицовки δ_0 , во всех представленных расчёта принимается равной 0,06 м. $K_{обл} = 0.0013 \text{ м/сут}$, $\Phi_{обл} = 23.1 \text{ м}$, $\Phi_{\phi} = 1.104 \text{ м}^2/\text{сут}$, $x = 10.67 \text{ м}^2/\text{сут}$, $Q_{\phi 1 M 2} = 105.45 \text{ м}$, $\text{л/сут} \cdot \text{м}^2$.

Эффективность использования облицовки определяется по формуле:

$$K_{обл} = \frac{Q_{\phi.звм}}{Q_{\phi.обл}} = 1.024$$

Геосинтетическая облицовка

$$K_{обл} = 0.00000864 \text{ м/сут}, \quad \Phi_{обл} = 3472 \text{ м}, \quad q_k = 0.11 \text{ м}^2/\text{сут},$$

$$Q_{\phi} = 0.22 \text{ м}^2/\text{сут}, \quad x = 10.67 \text{ м}, \quad Q_{\phi 1 M 2} = 21.06 \text{ л/сут} \cdot \text{м}^2, \quad K_{обл} 5.13$$

2.6. Оптимизация гидродинамических параметров потока воды в оросительном канале

В процессе длительной эксплуатации крупных каналов происходит снижение их гидравлической эффективности из-за различных деформаций русел, заиления, обрушения откосов, подмывания берегов,

зарастания водной растительностью. Все это приводит к снижению пропускной способности и повышению гидравлических сопротивлений русел каналов. При значительной фильтрации из каналов наблюдается подъем уровня грунтовых вод в приканальной зоне и подтопление прилегающей территории. Отмеченные причины обуславливают снижение КПД каналов, ухудшение экологической обстановки, а в ряде случаев – аварийные ситуации с прорывом дамб каналов и затоплением населенных пунктов и сельскохозяйственных земель.

Основными условиями нормального режима эксплуатации ирригационных каналов, является: сохранение пропускной способности русла; неразмываемость – то есть функционирование укреплений канала без повреждений их потоком; незаияемость русла канала, что связано с транспортировкой наносов.

Скорость потока в действующем канале находится в пределах $v_{из} \leq v \leq v_{нр}$, где: $v_{из}$ – незаияющая скорость потока; $v_{нр}$ – неразмывающая скорость потока.

В ирригационных каналах для поддержания наносов во взвешенном состоянии и для их транспортировки, поток должен двигаться со скоростью, при которой не будет происходить выпадение частиц наносов, приводящих к заилению русла, а также поток не должен размывать конструкции укрепления канала.

В процессе эксплуатации оросительных каналов в качестве средних скоростей принимают допускаемые скорости потока. По вопросу об определении допускаемых скоростей течения воды имеется очень много предложений и разработок. Критерии допускаемых скоростей потока воды в ирригационных каналах также установлены нормативными документами. Несмотря на это возникает необходимость отыскать оптимальные значения допустимой средней скорости потока. То есть, на основе методов теории управления, производим оптимизацию основных гидродинамических параметров потока. Для этих целей мы использовали формулу Абальянца-Россинского для определения заиляющей скорости потока воды в каналах [2]:

$$v_3 = \sqrt[3]{\frac{\rho_{cp} h_{cp} g_{cp}}{24}} \quad (1)$$

Допускаемая средняя скорость потока определяется по приближенной формуле:

$$v_{дон} = e\sqrt{R} \quad (2)$$

Здесь: e – коэффициент, определяемый по формуле И. И. Леви [25]:

$$e = 0.1 \frac{\vartheta}{\sqrt{d_{cp}}} \sqrt{\frac{P}{0.01} \frac{0.0225}{n}}$$

где: ρ_{cp} – средней мутность потока $\left[\frac{\kappa\text{г}}{\text{м}^3} \right]$, h_{cp} – средняя глубина потока [м], ϑ_{cp} – средняя гидравлическая крупность взвеси $\frac{\text{м}}{\text{с}}$, d_{cp} – средней диаметр преобладающих частиц взвешенных наносов [мм], p – процент (по объему) взвешенных наносов крупностью более 0,25 мм, n – коэффициент шероховатости русла ($n \approx 0.0225$).

Используя метод множителей Лагранжа производим оптимизацию, то есть максимизируем функцию $v_3 = \sqrt[3]{\frac{\rho_{cp} h_{cp} \vartheta_{cp}}{24}}$ при наличии ограничения

$$v_{дон} = e\sqrt{R} = A_0. \quad (3)$$

В начале формируем функцию Лагранжиан [2]:

$$f(h_{cp}, \vartheta_{cp}) = v_3 + \lambda v_{дон}. \quad (4)$$

где: λ – множитель Лагранжа. Учитывая (1) и (2) выражение (4) запишем следующем образом:

$$f(h_{cp}, \vartheta_{cp}) = \sqrt[3]{\frac{\rho_{cp} h_{cp} \vartheta_{cp}}{24}} + \lambda \frac{0.1}{\sqrt{d_{cp}}} \sqrt{\frac{P}{0.01} \frac{0.0225}{n}} \vartheta \sqrt{h} \sqrt{\frac{B}{\chi}} \text{ или} \\ f(h_{cp}, \vartheta_{cp}) = \sqrt[3]{\frac{\rho_{cp} h_{cp} \vartheta_{cp}}{24}} + \lambda \cdot a \cdot \vartheta \cdot \sqrt{h} \sqrt{\frac{B}{\chi}} \quad (5)$$

здесь: $\sqrt{R} = \sqrt{h} \sqrt{\frac{B}{\chi}}$; $a = \frac{0.1}{\sqrt{d_{cp}}} \sqrt{\frac{P}{0.01} \frac{0.0225}{n}}$

где: R – гидравлический радиус (м); B – ширина канала (м), χ – смоченный периметр (м).

Из (5) возьмем первую частную производную по каждой переменной и приравняем каждый результат нулю. Таким образом, получим:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial f(h_{cp}, \vartheta_{cp})}{\partial h_{cp}} &= \frac{1}{72} \frac{\rho_{cp} \cdot \vartheta_{cp}}{\sqrt[3]{\left(\frac{\rho_{cp} \cdot h_{cp} \cdot \vartheta_{cp}}{24}\right)^2}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{a \cdot \vartheta_{cp}}{\sqrt{h_{cp}}} \cdot \sqrt{\frac{B}{\chi}} = 0 \\
 \frac{\partial f(h_{cp}, \vartheta_{cp})}{\partial \vartheta_{cp}} &= \frac{1}{72} \cdot \frac{\rho_{cp} \cdot h_{cp}}{\sqrt[3]{\left(\frac{\rho_{cp} \cdot h_{cp} \cdot \vartheta_{cp}}{24}\right)^2}} + \lambda \cdot a \cdot \sqrt{R} = 0 \\
 &\left. \begin{aligned}
 &\frac{2 \cdot \rho_{cp} \cdot \vartheta_{cp} \cdot \sqrt{h_{cp}} + 72 \lambda \cdot a \vartheta_{cp} \sqrt{\frac{B}{\chi}} \sqrt[3]{\left(\frac{\rho_{cp} h_{cp} \vartheta_{cp}}{24}\right)^2}}{144 \cdot \sqrt{h_{cp}} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{\rho_{cp} h_{cp} \vartheta_{cp}}{24}\right)^2}} = 0 \\
 &\dots \\
 &\frac{-\rho_{cp} h_{cp} + 72 \cdot \lambda \cdot a \cdot \sqrt{R} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{\rho_{cp} h_{cp} \vartheta_{cp}}{24}\right)^2}}{72 \sqrt[3]{\left(\frac{\rho_{cp} h_{cp} \vartheta_{cp}}{24}\right)^2}} = 0
 \end{aligned} \right\} \quad (6)
 \end{aligned}$$

где: $\sqrt{h_{cp}} \neq 0$; $\sqrt[3]{\left(\frac{\rho_{cp} h_{cp} \vartheta_{cp}}{24}\right)^2} \neq 0$

Из (6) имеем:

$$\left. \begin{aligned}
 &\rho_{cp} \cdot \vartheta_{cp} \cdot \sqrt{h_{cp}} + 36 \cdot \lambda \cdot a \cdot \vartheta_{cp} \sqrt{\frac{B}{\chi}} \sqrt[3]{\left(\frac{\rho_{cp} \cdot h_{cp} \cdot \vartheta_{cp}}{24}\right)^2} = 0 \\
 &\rho_{cp} \cdot h_{cp} + 72 \cdot \lambda \cdot a \cdot \sqrt{R} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{\rho_{cp} \cdot h_{cp} \cdot \vartheta_{cp}}{24}\right)^2} = 0
 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Из (7) получим:

$$\left. \begin{aligned}
 h_{cp} &= \frac{24^4}{36^6} \cdot \frac{\rho^2 \cdot \chi^3}{\lambda^6 \cdot a^6 \cdot B^3 \vartheta_{cp}^4} \\
 \vartheta_{cp}^2 &= -\frac{1}{\lambda^3 B} \frac{\rho_{cp} \sqrt[3]{24 \rho_{cp}^2}}{3888 \cdot \alpha^3 \sqrt{R} \sqrt[3]{\frac{\rho^2}{24^2}}}
 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Вычислим теперь λ с учетом заданного ограничения (3) или

$$A_0^2 = a^2 R \mathcal{G}_{cp}^2$$

Выразив через полученные значение h_{cp} и $\mathcal{G}_{cp}^2$, получим:

$$\lambda = \pm \sqrt{\frac{a^2 R}{A_0^2} \cdot \frac{\chi}{B} \cdot \frac{\rho_{cp} \sqrt[3]{24 \cdot \rho_{cp}^2}}{3888 \cdot a^3 \sqrt{R} \sqrt[3]{\frac{\rho_{cp}^2}{24^2}}}}$$

Отметим, что для λ выбираются только отрицательные значения квадратного корня, поскольку в этом случае h_{cp} и $\mathcal{G}_{cp}^2$ принимают физически реализуемые значения. Таким образом, имеем:

$$\mathcal{G}_{cp} = \sqrt{\frac{A_0}{a}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\chi}{B} \frac{b}{R}}; \quad h_{cp} = \frac{0.00015 \cdot \rho_{cp}^2 \cdot A_0^2}{a^6 R^2 b^4} \cdot \frac{B}{\chi}$$

$$\text{где; } b = \frac{\rho_{cp} \sqrt[3]{24 \cdot \rho_{cp}^2}}{162 \cdot a^3 \cdot \sqrt{R} \sqrt[3]{24 \cdot \rho_{cp}^2}}$$

В итоге получили оптимальные значения h_{cp} и $\mathcal{G}_{cp}$ для $v_{оптим}$. где: $v_3 \leq v_{оптим} \leq v_{дон}$; ; здесь: $v_{из} \leq v_{дон} \leq v_{нр}$.

Таким образом, оптимизирована скорость потока потока, которая дает возможность повышения эффективности и надежности управления водопользования в ирригационных каналах.

2.7. Расчет надежности работы канала Хандам

Важное значение имеет количественная оценка канала при его эксплуатации, так как часто при этом возникают неблагоприятные сценарии: разрушения дамб каналов из-за недостаточного запаса гребня над уровнем воды, значительного превышения уровня воды над прилегающей территорией для участков в высоких насыпях, опасных фильтрационных деформаций грунта дамб и просадок гребня.

Для количественной оценки надежности канала используем метод Байеса [26]. В этом методе широко могут использоваться показатели по данным наблюдений или имеющимся статистическим данным, которые позволяют дать прогнозную оценку надежности системы и выбрать одну или несколько наиболее вероятных диагностических гипотез. Полная формула Байеса имеет вид [26]:

$$P(D_i/K_j) = \frac{P(D_i)P(K_j/D_i)}{\sum_{s=1}^n P(D_s)P(K_j/D_s)} \quad (2.7.1)$$

где $P(D_i)$ – предварительная вероятность диагноза D_i ;

$P(K_j/D_i)$ – вероятность появления признаков K_j у объектов с состоянием D_i

$\sum_{s=1}^n P(D_s)P(K_j/D_s)$ – сумма вероятностей появления событий.

Применительно к каналам в насыпи будем учитывать три диагностических признака, непосредственно влияющие на состояние и безопасность канала: K_1 – превышение гребня дамбы над уровнем воды на участке канала в насыпи; K_2 – обрушения (обвал) гребня дамбы канала; K_3 – средний градиент при фильтрации через тело и основание дамбы.

Рассмотрим решение данной задачи по исходным данным:

$P_1 = 0.25$ вероятность превышение гребня дамбы над уровнем воды на участке канала в насыпи;

$P_2 = 0.5$ вероятность обрушения (обвал) гребня дамбы канала;

$P_3 = 0.05$ вероятность аварии при фильтрации через тело и основание дамбы.

Тогда для параметров диагностических признаков получим:

$$K_1 = 0.60 \quad K_2 = 0.1 \quad K_3 = 0.05.$$

Учитывая $P(A_i) = \frac{K_i}{N}$, $N = K_1 + K_2 + K_3 = 0.6 + 0.1 + 0.05 = 0.75$,

$$P\left(\frac{B}{A_i}\right) = P_i \text{ и } P\left(\frac{A_2}{B_i}\right) = \frac{P(B/A_2)P(A_2)}{P(A_1)P(B/A_1) + P(A_2)P(B/A_2) + P(A_3)P(B/A_3)}.$$

$$P(A_2) = \frac{K_2}{N} = \frac{0.1}{0.75} \quad P(B/A_2) = P_2 = 0.5$$

$$P(A_1) = \frac{K_1}{N} = \frac{0.6}{0.75} \quad P(B/A_1) = P_1 = 0.15$$

$$P(A_3) = \frac{K_3}{N} = \frac{0.05}{0.75} \quad P(B/A_3) = P_3 = 0.15$$

Учитывая (2.7.1) получим вероятность аварии канала при обрушении (обвале) гребня дамбы канала:

$$P(A_2/B_i) = \frac{P(B/A_2)P(A_2)}{P(A_1)P(B/A_1) + P(A_2)P(B/A_2) + P(A_3)P(B/A_3)} = 0.34$$

Проведенные расчеты показали, что при неблагоприятных характеристиках дамбы канала, соответствующих описанному (критическому) состоянию, в процессе эксплуатации будет наблюдаться высокая вероятность аварии сооружения. При этом риск аварии составит 0.34.

Выводы по главе 2

1. На основе проведенных оценок поверхностных водных ресурсов Чирчик-Ахангаранского речных бассейнов установлено:

- 1.1. по бассейну р.Чирчик на территории Узбекистана насчитывается 2015 рек, из них длиной более 10 км всего 166, не считая густой сети оросительных и дренажных каналов. Водные ресурсы бассейна: среднемноголетний сток (год наблюдений 1965–2013 гг) – $9,047 \text{ км}^3/\text{год}$.
- 1.2 по бассейну р. Ахангаран имеется 1730 рек, из них длиной менее 10 км – 1671, длиной более 25 км – 10. Водные ресурсы бассейна: среднемноголетний сток (год наблюдений 1965–2013 гг) – $0,643 \text{ км}^3/\text{год}$.
- 1.3. Всего по Чирчик-Ахангаранскому речным бассейнам формируются среднемноголетний сток (год наблюдений 1965–2013 гг) – $9,74 \text{ км}^3/\text{год}$.

2. На основе анализа использования поверхностных водных ресурсов установлено, что:

Всего используемые водные ресурсы Чирчик-Ахангаранского речного бассейна составляют – $1,9465 \text{ км}^3/\text{год}$. При этом используется: для коммунально-бытовых нужд – $94,1 \text{ млн.м}^3$, для тепловых электростанций – $139,5 \text{ млн. м}^3$, для рыбного хозяйства – $12,67 \text{ млн. м}^3$, для нужд промышленности $25,3 \text{ млн.м}^3$ и для ирригации $1674,93 \text{ млн. м}^3$.

3. Всего из Чирчик-Ахангаранского речного бассейна формируются и сбрасываются в р.Сырдарью, с учетом использования подземного стока – $7,8 \text{ км}^3/\text{год}$ водных ресурсов Узбекистана, что составляет до 80% формирующегося речного стока бассейнов двух рек – Чирчик и Ахангаран.

4. Результаты натурных исследований распределительных каналов оросительных систем показали, что их средний КПД составляет 0,735, что на 19% ниже нормативных требований. Для каналов

в земляном русле. средний КПД равен 0,629, что на 29,2% ниже нормальных требований, а для каналов в облицовке – 0,813, что на 16% ниже нормальных требований. Таким образом, объем использованной воды на орошение составлял 1864 млн. м³/год, при среднем КПД оросительных каналов, потери в них составили 19%, что в свою очередь даёт возможность эффективного использования водных ресурсов объемом – 354,2 млн. м³/год.

5. Проведен гидравлический расчет подпертой фильтрации из канала с противофильтрационной облицовкой и в земляном русле. В результате определены удельные фильтрационные расходы из каналов: Ташкент $\left(q = 1.12 \frac{\text{м}^2}{\text{сут}} \right)$, Паркент $\left(q = 0.567 \frac{\text{м}^2}{\text{сут}} \right)$ и Хандам $\left(q = 0.304 \frac{\text{м}^2}{\text{сут}} \right)$, а также создана возможность по разработке и внедрению мероприятий по устранению сбросных вод в каналах.

Глава 3. Гидравлическая зависимость и компьютерная программа водобалансового расчета разветвленных каналов

3.1. Экспоненциальный закон изменения расхода воды в ирригационных каналах

На оросительных системах Республики Узбекистан, построенных с 1960 года, эксплуатируется большое количество ирригационных каналов. Так как срок их эксплуатации составляет примерно 50–55 лет, многие из них характеризуются значительным снижением гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности. Это обусловлено рядом факторов: деформациями и повышенной шероховатостью русла, зарастанием его водной растительностью, режимами и условиями эксплуатации, заилинием дна русла, значительными потерями на фильтрацию.

Под гидравлической эффективностью ирригационных каналов следует понимать обеспечение высокой пропускной способности их русел в процессе эксплуатации, близкой к проектной, при минимальных потерях воды, не превышающих допустимые значения. Под эксплуатационной надежностью ирригационных каналов понимается обеспечение надежного их функционирования с соблюдением требуемого КПД в течение срока службы.

Несмотря на то, что вопросы гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности ирригационных каналов Узбекистана рассматривались достаточно, требуется дальнейшее их всестороннее изучение, на основе данных эксплуатации. Только используя эти данные, можно получить наиболее объективные и достоверные оценки их гидравлической эффективности и надежности функционирования.

Для повышения эффективности и надежности при использовании воды в ирригационных каналах необходимо установление гидравлических

параметров потока в них, обусловленных экспоненциальным законом подачи воды для произвольного момента времени.

Для решения данной проблемы будем принимать следующие условия: движение воды в канале одномерное, а плотность, вязкость и гидравлическая крупность наносов воды являются величинами постоянными. используя вышеприведенное условие, будем устанавливать гидравлическую зависимость для экспоненциального изменения расхода воды в ирригационных каналах для произвольного момента времени.

Гидравлическое моделирование. Рассмотрим одномерную задачу процесса изменения скорости течения воды в магистральных каналах, обусловленной изменением режима подачи воды. Пусть $u(x, t)$ – скорость в точке с координатами x в момент времени t . Рассмотрим отсек потока воды с длиной l в канале, т.е. между сечениями (1–1) и (2–2) с абсциссами x_1 и x_2 ($x_2 - x_1 = \Delta x$). Количество воды, прошедшее через сечение с абсциссой x_1 , за время Δt , будет равно $\Delta Q_1 = \frac{v}{\Delta x} \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=x_1} \omega \Delta t$,

то же самое и для сечения с абсциссой x_2 : $\Delta Q_2 = \frac{v}{\Delta x} \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=x_2} \omega \Delta t$.

Изменение количества воды в отсеке за время Δt будет равняться:

$$\Delta Q_2 - \Delta Q_1 = \frac{v}{\Delta x} \omega \Delta t \left(\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=x_2} - \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=x_1} \right). \quad (3.1)$$

На основе теоремы Лагранжа по отношению к разности $\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=x_2} - \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=x_1}$, получим:

$$\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=x_2} - \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=x_1} \approx \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \Delta x - \frac{\Delta x}{v} V_0 \frac{\partial u}{\partial x} \quad (3.2)$$

где: V_0 – средняя скорость притока воды по живому сечению, ω – площадь живого сечения потока, v – кинематическая вязкость. На основании (3.1) и (3.2) получим:

$$\Delta Q_2 - \Delta Q_1 \approx v \omega \Delta t \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \omega \Delta t V_0 \frac{\partial u}{\partial x} \quad (3.3)$$

Учитывая, что подача воды в магистральном канале осуществляется по экспоненциальному закону, при этом для изменения расхода потока получим:

$$\Delta Q_2 - \Delta Q_1 \approx \omega \Delta t p(t) \frac{\partial u}{\partial t} \quad (3.4)$$

где: $p(t) = e^{-\int_0^t \lambda dt}$ – надежность или вероятность исправной работы ирригационного канала ($p(t)$ – функция от времени, безразмерная величина, λ – интенсивность отказов).

Приравнявая выражения (3.3) и (3.4), получим:

$\omega \Delta t p(t) \frac{\partial u}{\partial t} = \nu \omega \Delta t \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \omega \Delta t V_0 \frac{\partial u}{\partial x}$ или после соответствующих сокращений получим

$$p(t) \frac{\partial u}{\partial t} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - V_0 \frac{\partial u}{\partial x} \quad (3.5)$$

Таким образом, получено уравнение (3.5) динамики изменения скорости потока, обусловленное изменением по экспоненциальному закону подачи воды в магистральном канале.

Учтем, что в открытых ирригационных каналах движение воды происходит под действием сил инерции и вязкости, а также для описания структуры потока воды используем критерий подобия Рейнольдса Re .

В связи с этим введем безразмерные параметры $x = \frac{\nu}{V_0} \bar{x}$; $t = \frac{\nu}{gl} \tau$ где l, ν – характерные размерные величины (длина отсека между сечениями (1–1) и (2–2) и кинематическая вязкость соответственно) и после соответствующих сокращений получим: $p(\tau) \frac{gl}{V_0^2} \frac{\partial u}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 u}{\partial \bar{x}^2} - \frac{\partial u}{\partial \bar{x}}$

где: $p(\tau) = \exp \left(- \int_0^{\frac{\nu}{gl} \tau} \lambda \frac{\nu}{gl} d\tau \right)$

или

$$\frac{p(\tau)}{Fr} \frac{\partial u}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 u}{\partial \bar{x}^2} - \frac{\partial u}{\partial \bar{x}} \quad (3.6)$$

где: Fr – динамическое число Фруда. Таким образом, получена одномерная гидравлическая модель изменения средней скорости потока

воды в магистральных каналах, обусловленная экспоненциальным режимом подачи воды.

Численные эксперименты с использованием гидравлической модели

Для решения уравнения (6) введем функцию $f(\hat{x})$ в виде [2; 3]:

$$u(\bar{x}, \tau) = e^{\bar{q}_i \tau} f(\bar{x}) \quad (3.7)$$

$\hat{q}_i$ – удельный расход воды в безразмерном виде, $i = \overline{1, n}$.

Учитывая равенство (7), уравнение (6) примет следующей вид:

$$\frac{\partial^2 f(\bar{x})}{\partial \bar{x}^2} - \frac{\partial f(\bar{x})}{\partial \bar{x}} - \frac{p(\tau)}{Fr} \frac{\partial}{\partial \tau} \bar{q}_i f(\bar{x}) = 0 \quad (3.8)$$

Искомую функцию напомним как

$$f(\hat{x}) = e^{\beta \hat{x}} \quad (3.9)$$

Тогда из (8) для β получим характеристическое уравнение

$$\beta^2 - \beta - \frac{p(\tau)}{Fr} \bar{q}_i = 0 \quad (3.10)$$

Решая уравнение (10), получим

$$\beta_{1,2} = \frac{1 \pm \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}}}{2}.$$

Тогда решением дифференциального уравнения будет

$$f(\bar{x}) = \beta_1 \exp\left(\frac{(1 + \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right) + \beta_2 \exp\left(\frac{(1 - \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right) \quad (3.11)$$

Учитывая краевые условия $f(\bar{x})|_{\bar{x}=0} = 1$, $f(\bar{x})|_{\bar{x}=\bar{L}} = e^{\beta \hat{L}}$, получим следующие уравнения для коэффициентов:

$$\begin{cases} \beta_1 + \beta_2 = 1 \\ \beta_1 \exp\left(\frac{(1 + \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right) + \beta_2 \exp\left(\frac{(1 - \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right) = \exp(\beta \tau). \end{cases} \quad (3.12)$$

Решением системы линейных алгебраических уравнений методом Крамера определим неизвестные коэффициенты:

$$\left\{ \begin{aligned} \beta_1 &= \frac{\exp\left(\frac{(1 - \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right) - \exp(\beta\tau)}{\exp\left(\frac{(1 - \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right) - \exp\left(\frac{(1 + \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right)} \\ \beta_2 &= \frac{\exp(\beta\tau) - \exp\left(\frac{(1 + \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right)}{\exp\left(\frac{(1 - \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right) - \exp\left(\frac{(1 + \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right)} \end{aligned} \right.$$

Отсюда получим:

$$f(\bar{x}) = \frac{1}{\Delta} \left[\begin{aligned} &\left[\exp\left(\frac{(1 - \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right) - \exp(\beta\tau) \right] \exp\left(\frac{(1 + \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right) + \\ &+ \left[\exp(\beta\tau) - \exp\left(\frac{(1 + \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right) \right] \exp\left(\frac{(1 - \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right) \end{aligned} \right] \quad (3.13)$$

$$\text{где: } \Delta = \exp\left(\frac{(1 - \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right) - \exp\left(\frac{(1 + \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right)$$

В итоге получим закономерность одномерного изменения скорости потока воды в магистральных каналах, обусловленную экспоненциальным законом подачи воды для произвольного момента времени:

$$u(\bar{x}, \tau) = \frac{e^{\beta_1 \tau}}{\Delta} \left[\begin{aligned} &\left[\exp\left(\frac{(1 - \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right) - \exp(\beta\tau) \right] \exp\left(\frac{(1 + \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right) + \\ &+ \left[\exp(\beta\tau) - \exp\left(\frac{(1 + \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right) \right] \exp\left(\frac{(1 - \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x}\right) \end{aligned} \right] \quad (3.14)$$

Учитывая, что $u(\bar{x}, \tau) = \frac{Q(\bar{x}, \tau)}{\varpi(\bar{x}, \tau)}$, уравнение (3.14) принимает вид:

$$\bar{Q}(\bar{x}, \tau) = \frac{\bar{\omega} \exp(\bar{q}_i \tau)}{\Delta} \left\{ \begin{aligned} & \exp \left(\frac{(1 - \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x} \right) - \exp(\beta \tau) \exp \left(\frac{(1 + \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x} \right) + \\ & + \exp(\beta \tau) - \exp \left(\frac{(1 + \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x} \right) \exp \left(\frac{(1 + \sqrt{1 + 4q_i \frac{p(\tau)}{Fr}})}{2} \bar{x} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3.15)$$

Таким образом, получена гидравлическая зависимость экспоненциального изменения расхода воды в магистральных каналах, для произвольного момента времени. Решение уравнение (3.15) представлено в виде графиков (рис 3.1, 3.2 и 3.3).

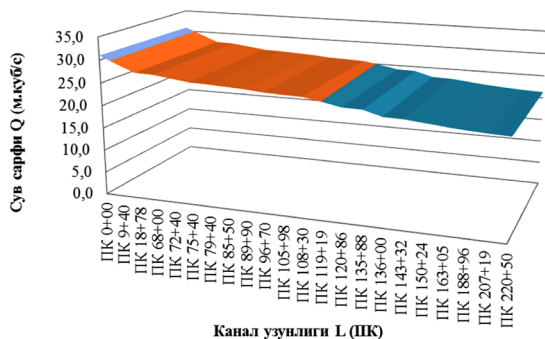


Рисунок 3.1. График функции $\bar{Q}(\bar{x}, \tau)$ для канала Хандам

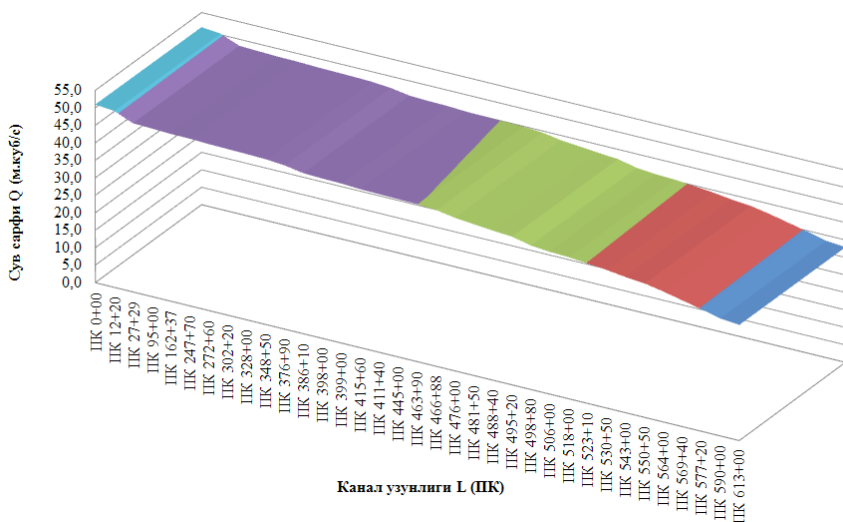


Рисунок 3.2. График функции $\bar{Q}(\bar{x}, \tau)$ для канала Паркент

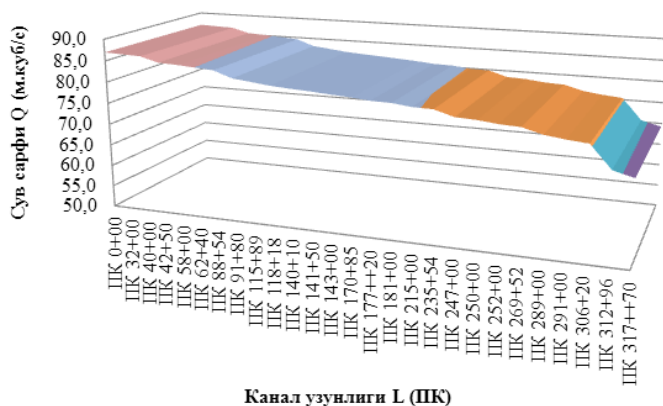


Рисунок 3.3. График функции $\bar{Q}(\bar{x}, \tau)$ для канала Ташкент

3.2. Водобалансовая расчетная схема крупных каналов: канал Паркент, Хандам и Ташкентский магистральный канал

Во многих регионах Республики сельское хозяйство страдает от нехватки воды, ситуация становится все более критической из-за её нерационального и неэффективного использования.

Использование современных информационных технологий в Управлениях ирригационных систем, Бассейновых управлениях ирригационных систем позволит увеличить эффективность использования воды в ирригационных каналах и улучшить управление водой и землей на уровне фермеров.

Водобалансовая расчетная схема разработана с использованием программ Visual Basic на базе Excel и не требует других дополнительных программ для использования кроме Microsoft office. Программа дает возможность производить расчеты в любое время, причем предыдущие расчеты сохраняются в базе программы и, при необходимости, в любое время можно их просмотреть и анализировать динамику изменения водораспределения в разрезе нескольких лет. Результаты расчета можно представить в виде таблиц и графиков, что облегчает процесс управления водными ресурсами в ирригационных системах. На основе результатов численных экспериментов и натурных

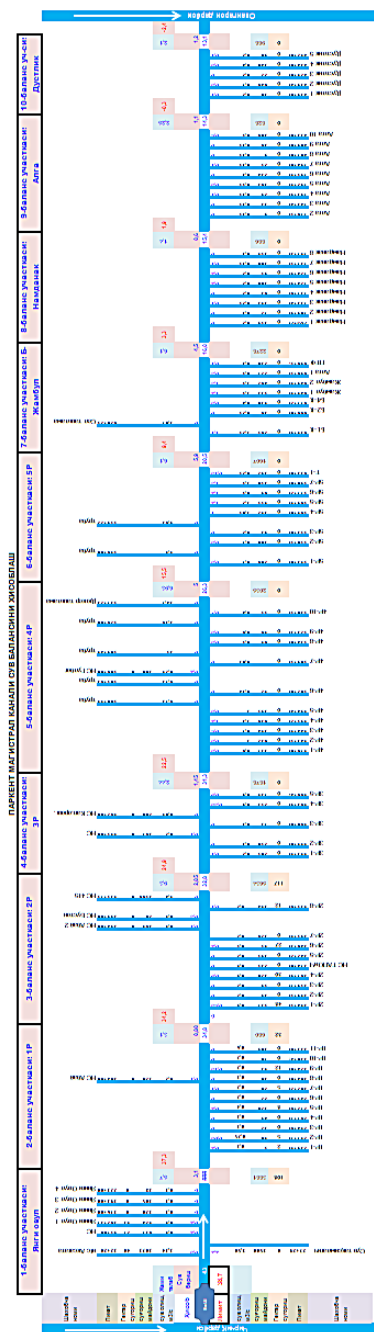


Рисунок 3.4. Линейная водобалансовая схема канала Паркент

данных, выполнены водобалансовые схемы самых крупных каналов: Хандам, Паркент и Ташкентский магистральный канал.

3.2.1. Канал Паркент

На (рис. 3.4) приведена линейная водобалансовая схема канала Паркент, на которой выделены 10 балансовых участков, указаны места водоотводов, пикеты и объёмы забираемой воды, а также названия пунктов назначения водозаборов.

В разработанную программу вводятся следующие данные:

- источник воды, их расположение (пикеты) и название каждого объекта: в данной программе река Чирчик, канал Паркнет, 94 водных объекта и сброс в реку Ахангаран;
- максимальная пропускная способность магистрального канала и других водных объектов, $\text{м}^3/\text{с}$;
- количество воды, подаваемой в канал по лимиту, $\text{м}^3/\text{с}$;
- количество воды, забираемой каждым из водных объектов, $\text{м}^3/\text{с}$;
- площадь орошаемых земель, подвешенных к каждому объекту, га;
- 10 балансовых участков Паркентского канала.

При помощи компьютерной программы выполняются следующие расчеты:

1. Определение требований на воду на каждом участке. Эти данные получают на основе планов водопользования, составленных по видам сельхозкультур и гидромодульному районированию, затем вводятся в командную зону каждого объекта.

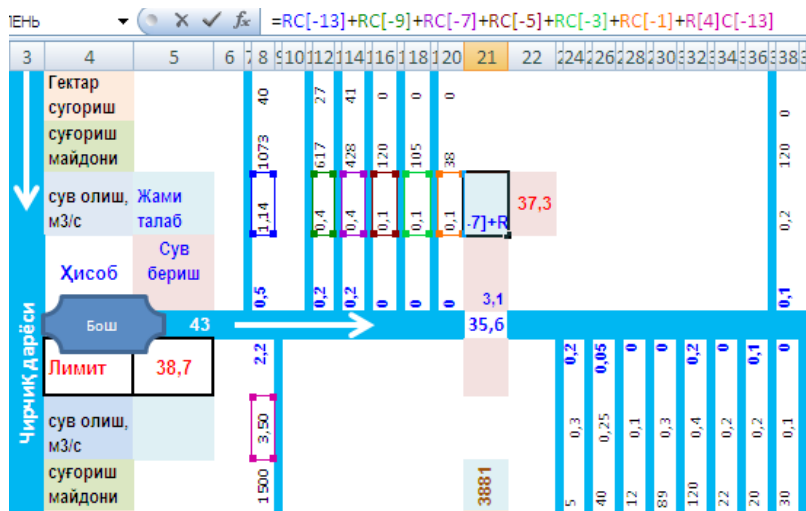


Рисунок 3.5. Расчеты баланса воды на первом участке

2. Вода на объект подаётся согласно лимиту, на конце каждого участка и в конце самого магистрального канала рассчитывается баланс воды согласно гидравлической зависимости (3.15).

На (рис. 3.6) показаны основные обозначения и водные объекты, принятые в программе.

На (рис. 4), приведен последний балансовый участок канала Паркент, где показана возможность появления недостатка воды. То есть, при повышении потребности в воду на 9 – Алга участке, возникнет дефицит воды ($0,3 \text{ м}^3/\text{с}$), который усилится на участке 10 – Дуслик ($2,4 \text{ м}^3/\text{с}$). Чтобы не прийти к таким отрицательным последствиям, программа дает возможность осуществлять предварительный надзор над водораспределением по всему каналу.

1 – Балансовый участок начинается с ПК476+00 и заканчивается на ПК537+23. В начале участка канал 4Р-1 и в конце участка расположен водосбросной дюкер. Название участка-4Р, длина 6,2 км, 16 точек водозабора и водосброса.

5 – Балансовый участок между ПК 776+50 и ПК813+00, начинается каналом Алга-2 и заканчивается каналом Алга-10. Название участка– Алга, длина 3,65 км, 9 точек водозабора и водосброса.

6 – Балансовый участок начинается с канала Дуслик-1 на ПК819+00 и заканчивается каналом Дуслик-5 на ПК 842+00. Название участка– Дуслик, длина 2,3 км, 5 точек водозабора и водосброса.

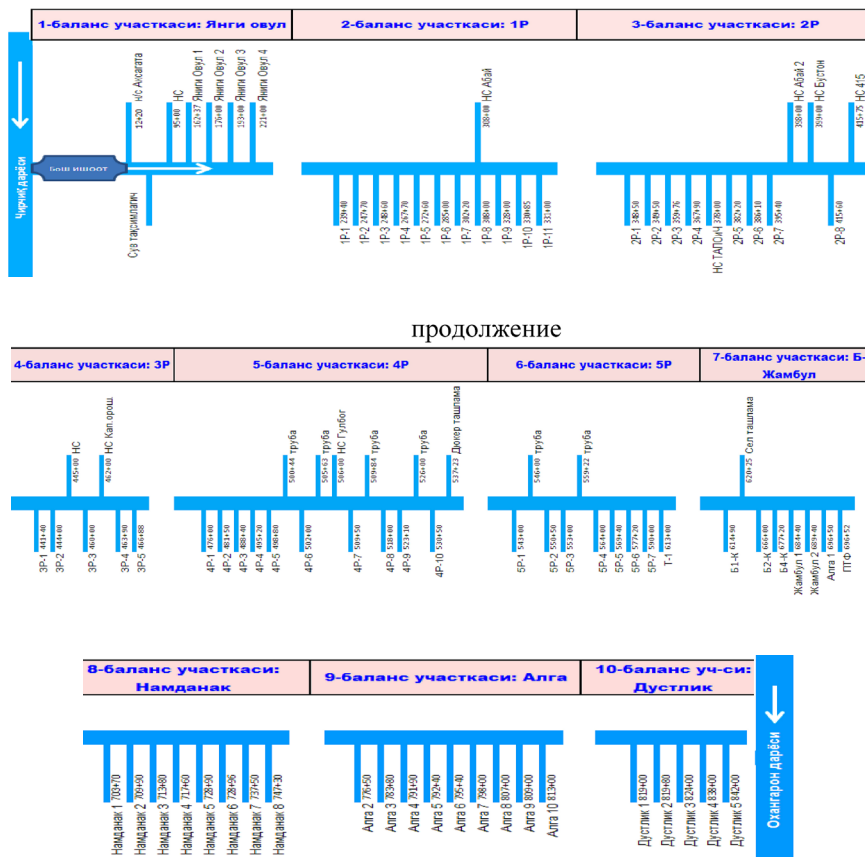


Рисунок 3.7. Линейная схема Паркентского магистрального канала с балансовыми участками. Балансовый участок начинается с канала ЗР-1 на ПК 441+40 и заканчивается каналом ЗР-5 на ПК 466+88. Название участка – ЗР, длина 2,55 км, имеется 7 точек водозабора и водосброса

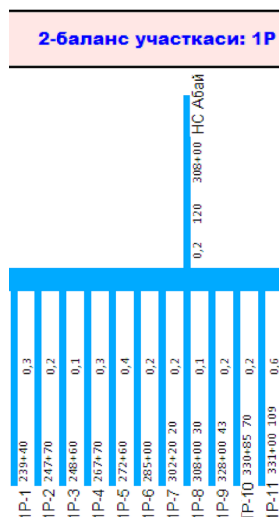
1-балансовый участок: Янги овул

Название участка:	1-балансовый участок Янги овул
Кол-во и тип сооруже-ний:	7: из них 2-НС, 1-распределитель, 4 канала (отвода)
Характеристика Сооружений:	
НС Ок-сокота	Пропускная способность, м ³ /с 1,14
Водорас-предела-тель	Орошаемая площадь, га 1073
НС	Пропускная способность, м ³ /с 3,5
Янги овул-1	Орошаемая площадь, га 1500
Янги овул-2	Пропускная способность, м ³ /с 0,4
Янги овул-3	Орошаемая площадь, га 428
Янги овул-4	Пропускная способность, м ³ /с 0,1
	Орошаемая площадь, га 120
	Пропускная способность, м ³ /с 0,1
	Орошаемая площадь, га 105
	Пропускная способность, м ³ /с 0,1
	Орошаемая площадь, га 38



2-балансовый участок: 1P

Название участка:	1P балансый участок
Кол-во и тип сооруже-ний:	12: из них 1-НС, 11 каналов (отводов)
Характеристика Сооружений:	
НС Абай	Пропускная способность, м ³ /с 0,2
	Орошаемая площадь, га 120
1P-1	Пропускная способность, м ³ /с 0,3
	Орошаемая площадь, га 135
1P-2	Пропускная способность, м ³ /с 0,2
	Орошаемая площадь, га 127
1P-3	Пропускная способность, м ³ /с 0,1
	Орошаемая площадь, га 37
1P-4	Пропускная способность, м ³ /с 0,3
	Орошаемая площадь, га 340
1P-5	Пропускная способность, м ³ /с 0,4



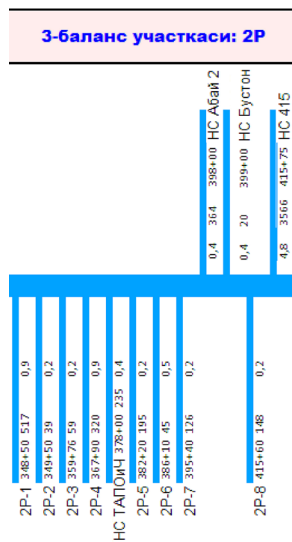
1P-5	Орошаемая площадь, га	470
1P-6	Пропускная способность, м ³ /с	0,2
	Орошаемая площадь, га	180
1P-7	Пропускная способность, м ³ /с	0,2
	Орошаемая площадь, га	20
1P-8	Пропускная способность, м ³ /с	0,1
	Орошаемая площадь, га	30
1P-9	Пропускная способность, м ³ /с	0,2
	Орошаемая площадь, га	43
1P-10	Пропускная способность, м ³ /с	0,2
	Орошаемая площадь, га	70

3-балансовый участок: 2P

Название участка: 2P балансовый участок
 Кол-во и тип сооружений: 12: из них 4 НС, 8 каналов (отводов)

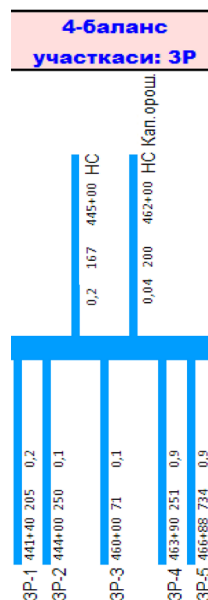
Характеристика Сооружений:

НС	Пропускная способность, м ³ /с	0,4
Абай – 2	Орошаемая площадь, га	364
2P-1	Пропускная способность, м ³ /с	0,9
	Орошаемая площадь, га	517
2P-2	Пропускная способность, м ³ /с	0,2
	Орошаемая площадь, га	39
2P-3	Пропускная способность, м ³ /с	0,2
	Орошаемая площадь, га	59
2P-4	Пропускная способность, м ³ /с	0,9
	Орошаемая площадь, га	320
2P-5	Пропускная способность, м ³ /с	0,2
	Орошаемая площадь, га	195
2P-6	Пропускная способность, м ³ /с	0,5
	Орошаемая площадь, га	45
2P-7	Пропускная способность, м ³ /с	0,2
	Орошаемая площадь, га	126
2P-8	Пропускная способность, м ³ /с	0,2
	Орошаемая площадь, га	148
Тапоич	Пропускная способность, м ³ /с	0,4
	Орошаемая площадь, га	235
Бустон	Пропускная способность, м ³ /с	0,4
	Орошаемая площадь, га	20
НС415	Пропускная способность, м ³ /с	4,8
	Орошаемая площадь, га	3566



4-балансовый участок: 3Р

Название участка:	3Р балансовый участок		
Кол-во и тип сооружений:	7: из них 2 и НС, 5 каналов (отвод)		
Характеристика Сооружений:			
НС	Пропускная способность, м³/с	0,2	
	Орошаемая площадь, га	167	
3Р-1	Пропускная способность, м³/с	0,2	
	Орошаемая площадь, га	205	
3Р-2	Пропускная способность, м³/с	0,1	
	Орошаемая площадь, га	250	
3Р-3	Пропускная способность, м³/с	0,1	
	Орошаемая площадь, га	71	
3Р-4	Пропускная способность, м³/с	0,9	
	Орошаемая площадь, га	251	
3Р-5	Пропускная способность, м³/с	0,9	
	Орошаемая площадь, га	734	
НС Капельное орошение	Пропускная способность, м³/с	0,04	
	Орошаемая площадь, га	200	



5-балансовый участок: 4Р

Название участка:	4Р балансовый участок		
Кол-во и тип сооружений:	16: из них 1 НС, 4 трубы, 1 дюкер, 10 канал (отвод)		
Характеристика Сооружений:			
НС Гулбог	Пропускная способность, м³/с	0,24	
	Орошаемая площадь, га	100	
4Р-1	Пропускная способность, м³/с	0,6	
	Орошаемая площадь, га	117	
4Р-2	Пропускная способность, м³/с	1,0	
	Орошаемая площадь, га	632	
4Р-3	Пропускная способность, м³/с	0,7	
	Орошаемая площадь, га	148	
4Р-4	Пропускная способность, м³/с	1,3	
	Орошаемая площадь, га	636	
4Р-5	Пропускная способность, м³/с	1,0	
	Орошаемая площадь, га	195	
4Р-6	Пропускная способность, м³/с	0,18	



4P-6	Орошаемая площадь, га	42
4P-7	Пропускная способность, м ³ /с	0,2
	Орошаемая площадь, га	126
4P-8	Пропускная способность, м ³ /с	0,5
	Орошаемая площадь, га	64
4P-9	Пропускная способность, м ³ /с	0,6
	Орошаемая площадь, га	46
4P-10	Пропускная способность, м ³ /с	0,8
	Орошаемая площадь, га	55
трубопровод	Пропускная способность, м ³ /с	6,73
	Орошаемая площадь, га	164
трубопровод	Пропускная способность, м ³ /с	6,73
	Орошаемая площадь, га	130
трубопровод	Пропускная способность, м ³ /с	35,0
	Орошаемая площадь, га	143
трубопровод	Пропускная способность, м ³ /с	3,16
	Орошаемая площадь, га	167
дюкер	Пропускная способность, м ³ /с	18,7
	Орошаемая площадь, га	124

6-балансовый участок: 5P

Название участка: 5P балансный участок

Кол-во и тип сооружений: 10: из них 2 труба 8 канал (отвод)

Характеристика Сооружений:

5P-1	Пропускная способность, м ³ /с	0,7
	Орошаемая площадь, га	206
5P-2	Пропускная способность, м ³ /с	0,7
	Орошаемая площадь, га	100
5P-3	Пропускная способность, м ³ /с	0,5
	Орошаемая площадь, га	93
5P-4	Пропускная способность, м ³ /с	1,05
	Орошаемая площадь, га	142
5P-5	Пропускная способность, м ³ /с	1,2
	Орошаемая площадь, га	455
5P-6	Пропускная способность, м ³ /с	0,5
	Орошаемая площадь, га	69
5P-7	Пропускная способность, м ³ /с	1,5
	Орошаемая площадь, га	350



Т-1	Пропускная способность, м ³ /с	0,25
	Орошаемая площадь, га	192
Трубопровод	Пропускная способность, м ³ /с	4,4
	Орошаемая площадь, га	
Трубопровод	Пропускная способность, м ³ /с	9,63
	Орошаемая площадь, га	

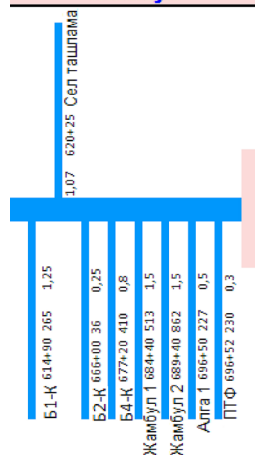
7-балансовый участок: Б-Жамбул

Название участка:	Б-Жамбул балансовый участок
Кол-во и тип сооружений:	8: из них 1 сброс, 7 канал (отводы)

Характеристика Сооружений:

Селесброс	Пропускная способность, м ³ /с	1,07
	Орошаемая площадь, га	
Б1-К	Пропускная способность, м ³ /с	1,25
	Орошаемая площадь, га	265
Б1-К	Пропускная способность, м ³ /с	0,25
	Орошаемая площадь, га	36
Б1-К	Пропускная способность, м ³ /с	0,8
	Орошаемая площадь, га	410
Жамбул-1	Пропускная способность, м ³ /с	1,5
	Орошаемая площадь, га	513
Жамбул-2	Пропускная способность, м ³ /с	1,5
	Орошаемая площадь, га	862
Алга-1	Пропускная способность, м ³ /с	0,5
	Орошаемая площадь, га	227
ПТФ	Пропускная способность, м ³ /с	0,3
	Орошаемая площадь, га	230

7-баланс участкаси: Б-Жамбул



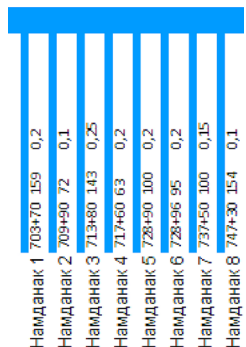
8-балансовый участок: Намданак

Название участка: Балансовый участок Намданак

Кол-во и тип сооружений: 8 та: шундан 8 та канал (отвод)

Характеристика Сооружений:

Намданак-1	Пропускная способность, м ³ /с	0,2
	Орошаемая площадь, га	159
Намданак-2	Пропускная способность, м ³ /с	0,1
	Орошаемая площадь, га	72
Намданак-3	Пропускная способность, м ³ /с	0,25
	Орошаемая площадь, га	143
Намданак-4	Пропускная способность, м ³ /с	0,2
	Орошаемая площадь, га	63
Намданак-5	Пропускная способность, м ³ /с	0,2
	Орошаемая площадь, га	100
Намданак-6	Пропускная способность, м ³ /с	0,2
	Орошаемая площадь, га	95
Намданак-7	Пропускная способность, м ³ /с	0,15
	Орошаемая площадь, га	100
Намданак-8	Пропускная способность, м ³ /с	0,1
	Орошаемая площадь, га	154

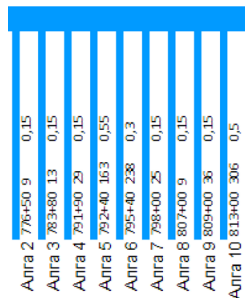
8-баланс участкаси:**Намданак****9-балансовый участок: Алга**

Название участка: Балансовый участок Алга

Кол-во и тип сооружений: 9: из них 8 каналов (отводы)

Характеристика Сооружений

Алга-2	Пропускная способность, м ³ /с	0,15
	Орошаемая площадь, га	9
Алга-3	Пропускная способность, м ³ /с	0,15
	Орошаемая площадь, га	13
Алга-4	Пропускная способность, м ³ /с	0,15
	Орошаемая площадь, га	29
Алга-5	Пропускная способность, м ³ /с	0,55
	Орошаемая площадь, га	163
Алга-6	Пропускная способность, м ³ /с	0,3
	Орошаемая площадь, га	238

9-баланс участкаси:**Алга**

Алга-7	Пропускная способность, м³/с	0,15
Алга-7	Орошаемая площадь, га	25
Алга-8	Пропускная способность, м³/с	0,15
	Орошаемая площадь, га	9
Алга-9	Пропускная способность, м³/с	0,15
	Орошаемая площадь, га	36
Алга-10	Пропускная способность, м³/с	0,5
	Орошаемая площадь, га	306

10-балансовый участок: Дустлик

Название: балансовый участок Дустлик

Количество и
тип сооружений: 5: 5 отводов

Характеристика сооружений:

Дустлик-1	Пропускная способность, м³/с	0,2
	Орошаемая площадь, га	10
Дустлик –2	Пропускная способность, м³/с	0,7
	Орошаемая площадь, га	686
Дустлик –3	Пропускная способность, м³/с	0,2
	Орошаемая площадь, га	22
Дустлик –4	Пропускная способность, м³/с	0,8
	Орошаемая площадь, га	180
Дустлик –5	Пропускная способность, м³/с	0,2
	Орошаемая площадь, га	90

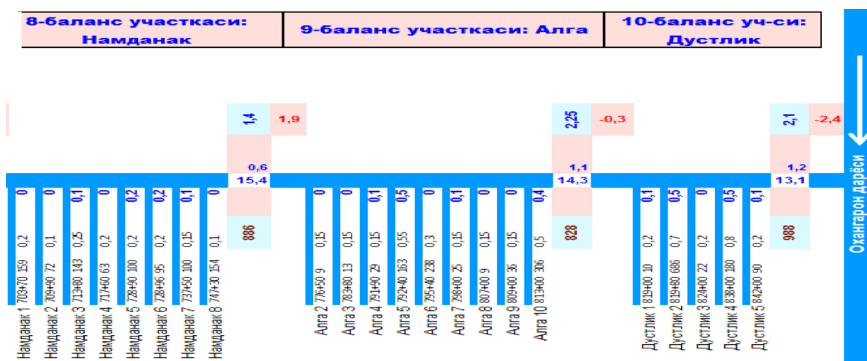
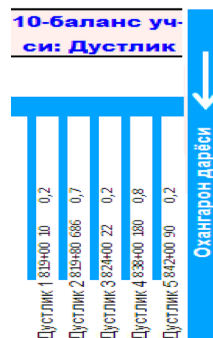


Рисунок 3.8 – Недостаток воды на конечном балансовом участке



Польза от использования программы достигается за счет увеличения эффективности управления водными ресурсами, то есть:

- рациональное распределение и, при необходимости, перераспределение водных ресурсов: в маловодный период, справедливое обеспечение водой всей системы, сброс воды при многоводье и паводках;
- своевременная. И, в нужных количествах, подача воды на орошаемые земли, снижение потерь воды;
- мониторинг имеющихся на участках канала водных ресурсов, определение степени водообеспеченности.

К Паркентскому каналу подвешено 23115 га орошаемых земель, годовое водопользование составляет 185 млн. м³, или с учетом потерь воды 204 млн. м³. При использовании водобалансовой схемы в результате правильного

распределения воды эффективность водопользования на каждый 1 процент приводит к экономии воды в объеме 1,9 млн. м³. или, если принять стоимость доставки 1 м³ воды в Ташкентской области равной 10,6 сум, то в год каждый 1 процент сэкономленной воды составляет 20,14 млн. сум.

3.2.2. Канал Хандам

Канал расположен в пределах левобережной части р. Чирчик и проходит по территории Юкори-Чирчикского, Паркентского и Ахангаранского района Ташкентской области Республики Узбекистан. Забор воды производится на ПК 26 Левобережного Карасу влево. Трасса канала проходит в предгорной равнине со сложным рельефом и поэтому очень извилиста в плане.

В 1970 г. по инициативе областных организаций проведена коренная реконструкция канала. Хандам командует в правую сторону, заканчивается включением в действующий канал Ходжабалянд оросительной системы р. Ахангарана.

Канал Хандам – очень сложное гидротехническое сооружение. В продольном профиле канала выемки чередуются с насыпями. Глубина выемок достигает 25 м, максимальная высота насыпи около 30 м.

Канал эксплуатирует на участке:

- ПК 0+00÷472+00 – УИС «Паркент-Карасу».
- 472+00÷740+00 – УИС «Ахангаран – Дальверзин».

На ПК 472 канала расположен балансовый гидропост. Фото 34.

Водозабор в канал осуществляется с гидроузла на ПК 26 канала Левобережный Карасу.

Площадь подвешенных земель 19,9 тыс. га.

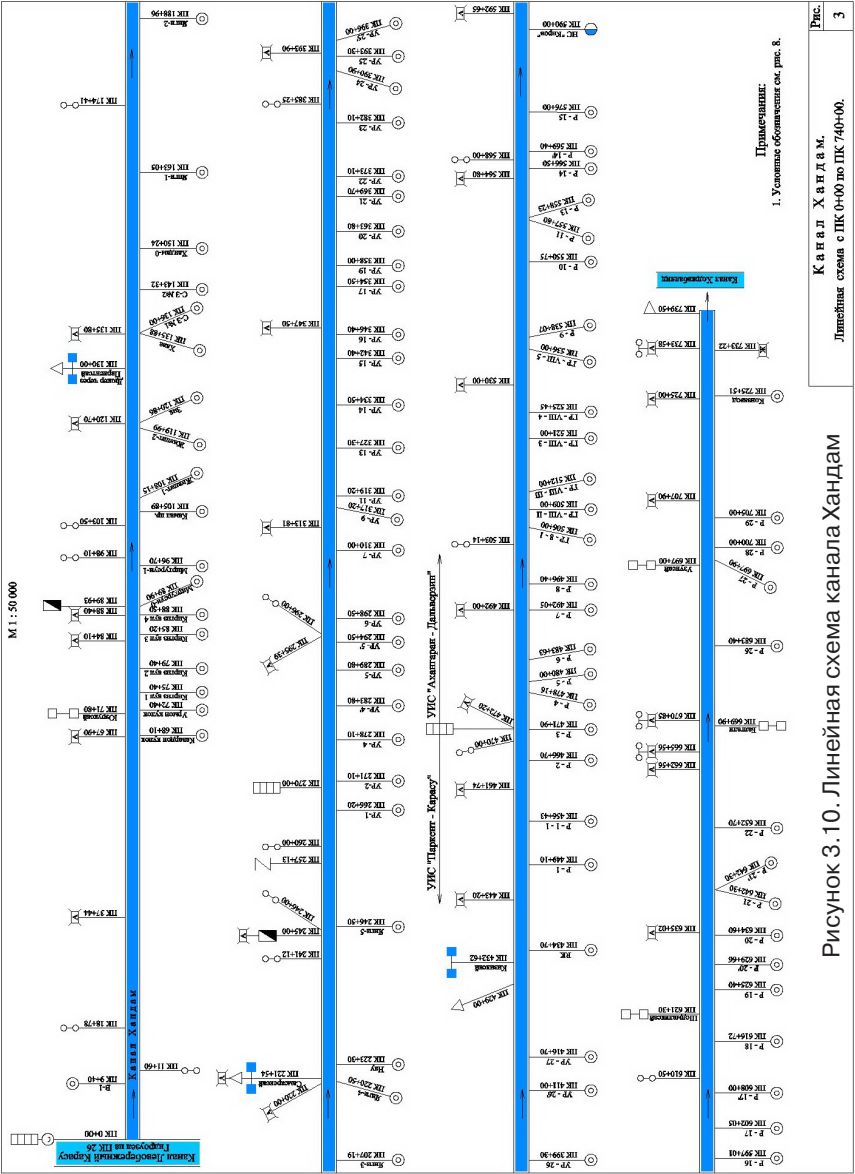
Пропускная способность канала в голове составляет 31 м³/с.

Общая протяженность канала 74,0 км, из них в бетонной облицовке 55,9 км.

Канал отнесен к III классу.

Сейсмичность района: 9 баллов.

На (Рис. 3. 10) представлена линейная схема канала.



Балансовые участки канала

Область канала разделена на 7 балансовых участков:

Из них 5 балансовых участков находятся в ведомстве Паркент-Карасуйской, 2 в Ахангаран – Дальверзинской УИСов (Рис. 3.11).

7 – Балансовый участок расположен от ПК 00+00 в голове канала и до перегораживающего сооружения на ПК89+93. Длина участка составляет 9 км, имеется 7 точек водозабора, 1 трубопровод и 1 дюкер.

8 – Балансовый участок расположен между ПК89+93 и ПК130+00, начинается с перегораживающего сооружения и заканчивается Паркентсайским узлом сооружений. Длина участка составляет 4 км, имеет 6 точек водозабора и 2 трубопровода, проходящих под каналом.

9 – Балансовый участок расположен между ПК130+00 (Паркентсай) и ПК 221+54 (Самсараксай). Длина участка составляет 9,15 км, 8 точек водозабора, 1 трубопровод, 1 дюкер и 1 водосбросное сооружение.

10 – Балансовый участок начинается на Самсараксае, находящемся на ПК 221+54 и заканчивается перегораживающим сооружением на ПК245+00. Длина участка составляет 3,35 км, 3 точки водозабора, дюкер, аварийный водосброс, 2 трубопровода, проходящих под каналом.

11 – Балансовый участок начинается с перегораживающего сооружения на ПК245+00 и заканчивается балансовым гидростом на ПК472+00. Длина участка составляет 22,05 км, 27 точек водозабора и 2 трубопровода, проходящих под каналом. На этом месте заканчивается область Паркент – Карасуйской ирригационной системы (ИС) и начинается область Ахангаран-Дальверзинская ИС.

12 – Балансовый участок расположен между ПК472+00 и ПК590+00, начинается с балансового гидростома и заканчивается Кировской насосной станцией. Длина участка составляет 12,2 км, 18 точек водозабора, 1 насосная станция, 2 трубопровода, проходящих под каналом.

13 – Балансовый участок начинается на ПК590+00, где расположена Кировская насосная станция, ПК 739+50 водосбросом в канал Хужабаланд. Длина участка составляет 15 км, 15 точек водозабора, 2 дюкера и 4 трубопровода, проходящих под каналом.

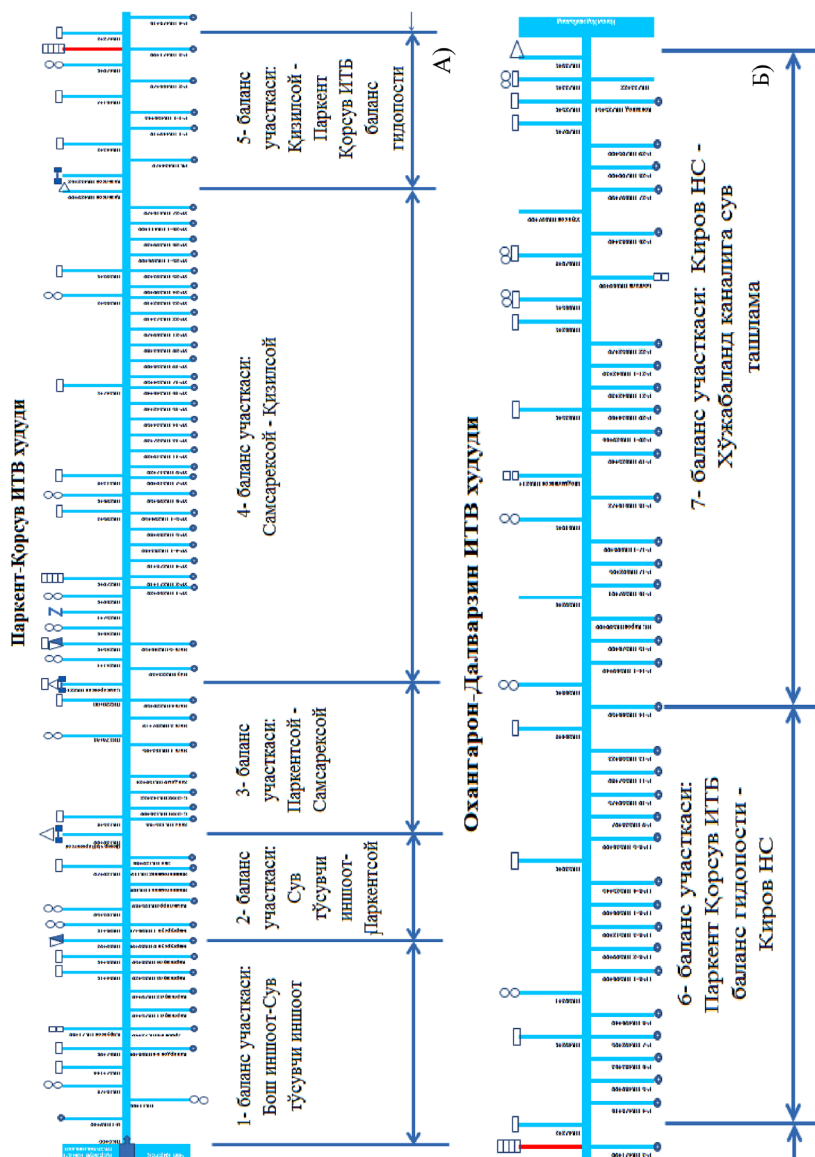


Рисунок 3.11. А – Паркент-Карасульская ИС; Б – Ахангар-Дальварзинская И.С.

Таблица 3.1. – 1-балансовый участок: Головное сооружение –перегораживающее сооружение

Название сооружения	Пропускная способность, м ³ /с	Орошаемая площадь, га
Головное сооружение	31	19900
В-1	1,65	
Кавардон	0,12	55
Урмон кулоқ	0,5	251
Киргизовул 1	0,5	74
Киргизовул 1	0,1	56
Киргизовул 1	0,2	26
Киргизовул 4	0,1	36,5
Всего	4,57	503,5



Рисунок 3.12. 1-балансовый участок

Таблица 3.2. – 2-балансовый участок: Перегораживающее сооружение Паркентского канала

Название сооружения	Пропускная способность, м ³ /с	Орошаемая площадь, га
Миртурсун 0	0,2	95
Миртурсун 1	0,35	35
Камил Прр.	0,1	20
Живпитомник 1	0,1	22
Живпитомник 2	0,7	41
Зия	0,8	268
Всего	2,18	481



Рисунок 3.13. 2-балансовый участок

Таблица 3.3 – 3-балансовый участок: Паркентсой – Самсарексой

Название сооружения	Пропускная способность, м³/с	Орошаемая площадь, га
Хива	0,1	11
С-з № 1	1,1	
С-з № 2	0,1	12
Хандам 0	0,4	118
Янги 1	0,4	118
Янги 2	0,3	127
Янги 3	0,3	116
Янги 4	0,15	118
Всего	2,85	620



Рисунок 3.14. 3-балансовый участок

Таблица 3.4. – 4-балансовый участок: Самсарексой – Кизилсой

Название сооружения	Пропускная способность, м³/с	Орошаемая площадь, га
Нау	0,2	195
Янги 5	0,4	153
УР 1	0,15	82
УР 2	0,25	53
УР 4	0,2	39
УР 4–1	0,2	9
УР 5	0,3	36
УР 5–1	0,4	20
УР 6	0,15	10
УР 7	0,2	10
УР 9	0,1	50
УР 11	0,2	47
УР 13	0,25	73
УР 14	0,2	50
УР 15	0,25	52
УР 16	0,2	32
УР 17	0,2	52
УР 19	0,25	28
УР 20	0,3	34
УР 21	0,2	5
УР 22	0,15	21
УР 23	0,2	101
УР 24	0,2	140
УР 25	0,25	146
УР 25–1	0,35	141
УР 26	0,5	140
УР 26–1	0,25	129
УР 27	0,5	184
Всего	7,85	2032

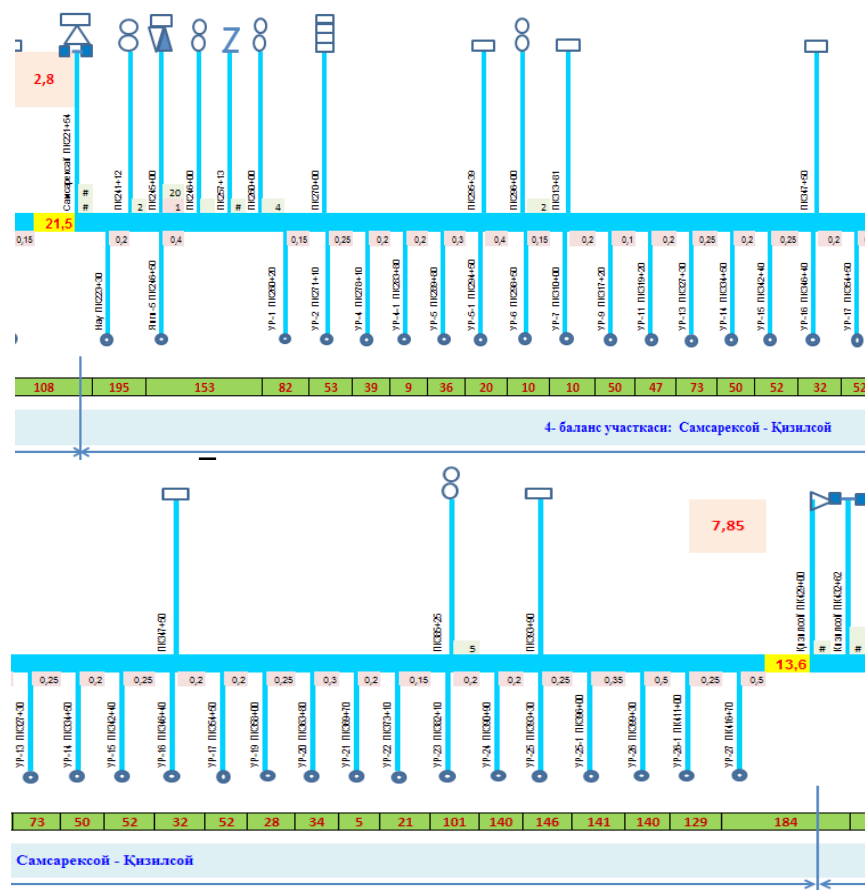


Рисунок 3.15. 4-балансовый участок

Таблица 3.5. – 5-балансовый участок: балансовый гидрост Кизилсай – Паркент Карсуп Управление Ирригационных Систем (УИС)

Название сооружения	Пропускная способность, м ³ /с	Орошаемая площадь, га
ПК	0,5	342
P-1	0,3	239
P-1-1	0,4	
P-2	0,35	185
P-3	0,1	85
Всего	1,6	851

1	2	3
P-8-3	0,1	500
P-8-3-1	0,1	
P-8-4	0,1	
P-8-5	0,2	
P-9	0,1	
P-10	0,5	1026
P-11	0,25	1086
P-13	0,1	581
P-14	0,1	89
P-14-1	0,1	90
P-15	0,5	35
Всего	3,5	5638

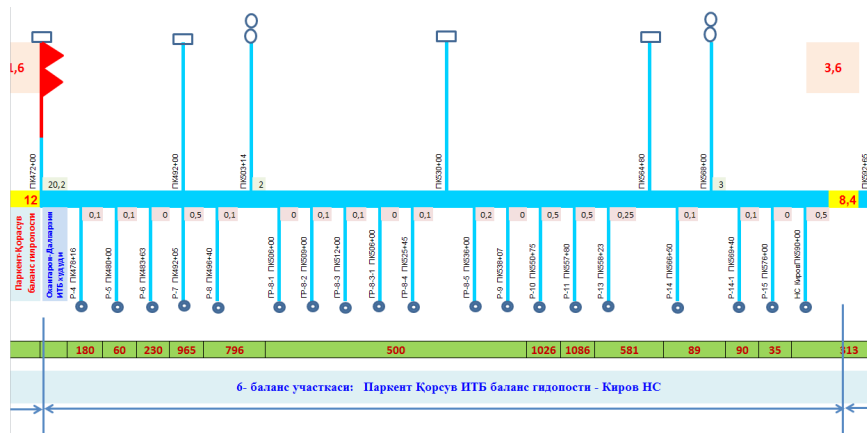


Рисунок 3.17.6-балансовый участок

Таблица 3.7. – 7-балансовый участок: Кировская
НС – водосброс в канал Хужабаланд

Название сооружения	Пропускная способность, м³/с	Орошаемая площадь, га
1	2	3
P-16	1	120
P-17	0,1	

1	2	3
P-17-1	0,1	122
P-18	0,1	
P-19	0,1	
P-20-1	0,05	82
P-20	0,05	74
P-21	0,05	79
P-21-1	0,05	80
P-22	0,05	82
P-26	0,2	127
P-27	0,25	280
P-28	0,1	
P-29	0,1	160
Конзавод	0,5	
Всего	2,25	1156

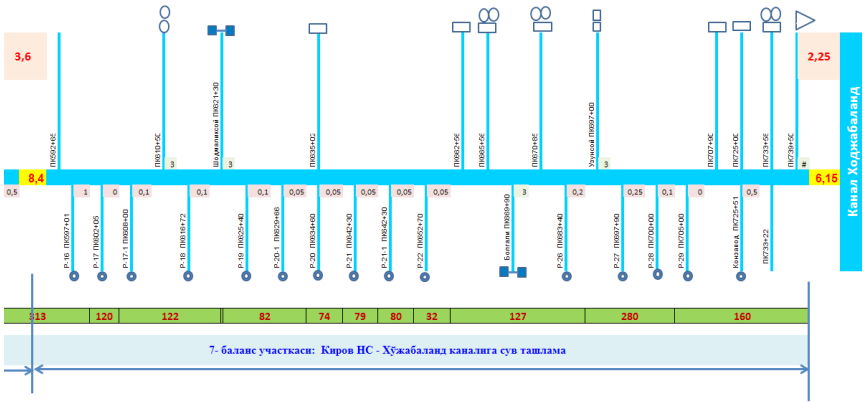


Рисунок 3.18. 7-балансовый участок



Рисунок 3.19. Общий вид программы по расчету баланса воды канала Хандам

3.2.3. Ташкентский магистральный канал (МК)

Ташкентский МК обеспечивает водой 64251 тыс. га орошаемых земель Аккурганского, Бекабадского, Букинского, Пскентского, Урта Чирчикского и Ахангаранского районов. Паркен-Карасуйкое управление ирригационных систем образовно по приказу Кабинета Министров № 320 в 21.06. 2003 году, расположено в Ташкентской области (Рис. 3.20).

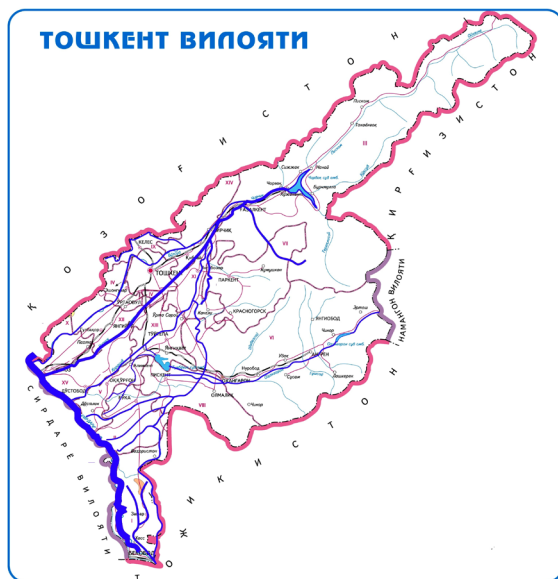


Рисунок 3.20. Карта Ташкентского магистрального канал

Таблица 3.8

Магистральный канал			Сооружения на Магистральном канале, шт						Подача воды в хозяйства, шт			
Общая длина, км	В том числе								Всего сооружений	В том числе		
	Земляное русло	Бетон	Сооружения	Мосты	Дюкеры	Акведуки	Водомерустр.	сооружения		Водомерные устр.		
61,114	35,97	25,3	98	22	15	11	9	63	63	63	63	67

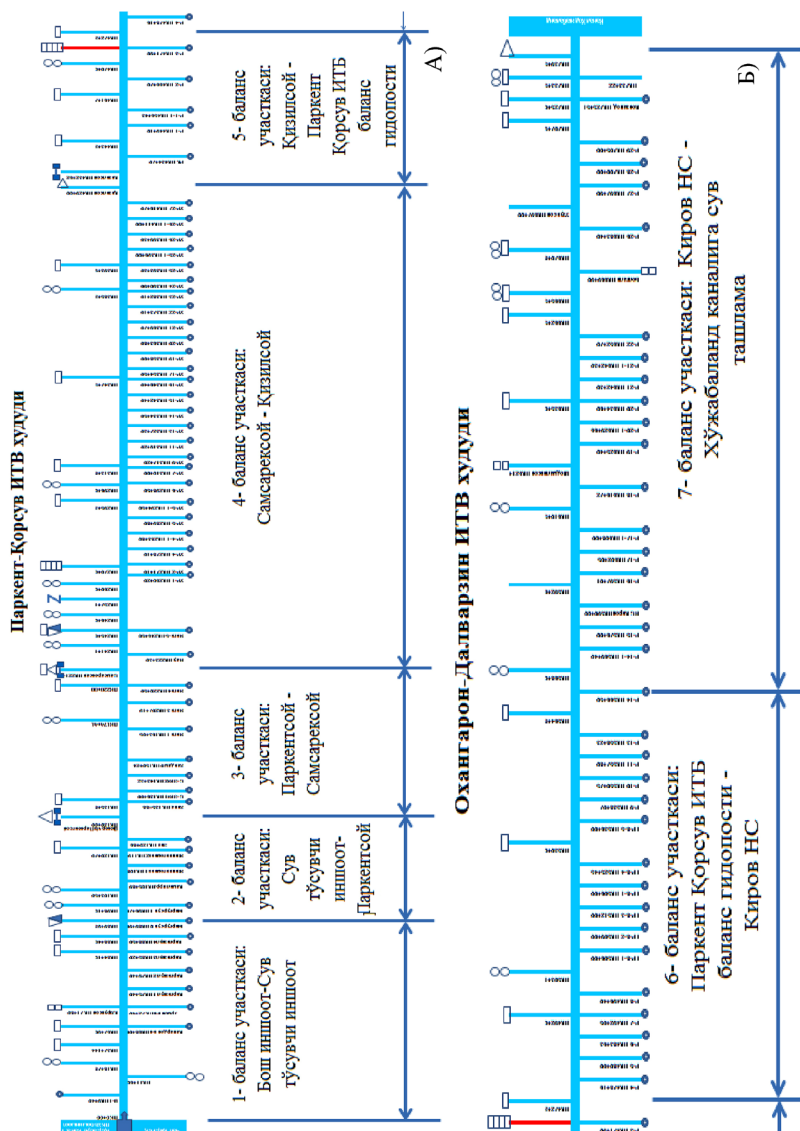


Рисунок 3.21. Балансовая схема Ташкентского МК

3.3. Информационные географические системы со встроенными базами данных в гидрографическом управлении водными ресурсами

Информационная система – это взаимосвязанная совокупность: информационных, программных, математических, организационных, технических средств, предназначенных для централизованного хранения, накопления и многоцелевого использования данных для получения необходимой информации.

Создание любой информационной системы подразумевает выработку комплексного решения, одновременно учитывающего характеристики технической платформы, операционной системы, системы управления данными и информацией между абонентами системы. Комплексный подход позволяет рационально выбрать каждый из компонентов системы, и, в максимальной степени, использовать их функциональные возможности.

Геоинформационные системы (ГИС)-система управления, разработанная компанией ESRI под названием ArcView, является в настоящее время наиболее доступной и самой не ресурсоемкой. Оптимальный набор инструментов для разработки и использования геоинформационных проектов позволяет в минимальные сроки провести обучение и развертывание на практически любых системах.

Для создания проекта определяются типы данных, их размеры, создаются структуры таблиц, адекватно отражающих свойства и характеристики соответствующих информационных объектов, формируется внутренняя структура базы данных ГИС-карты, отражающая все информационные связи между объектами (таблицами). Интерфейс пользователя системы позволяет легко и быстро осуществлять выбор и загрузку необходимого функционального элемента информационной системы, обеспечивает простой и удобный доступ к информационным объектам базы данных, позволяя пользователю не только просмотр информации, но и обработку (ввод, корректировку) ее, если у пользователя есть на это соответствующие права доступа.

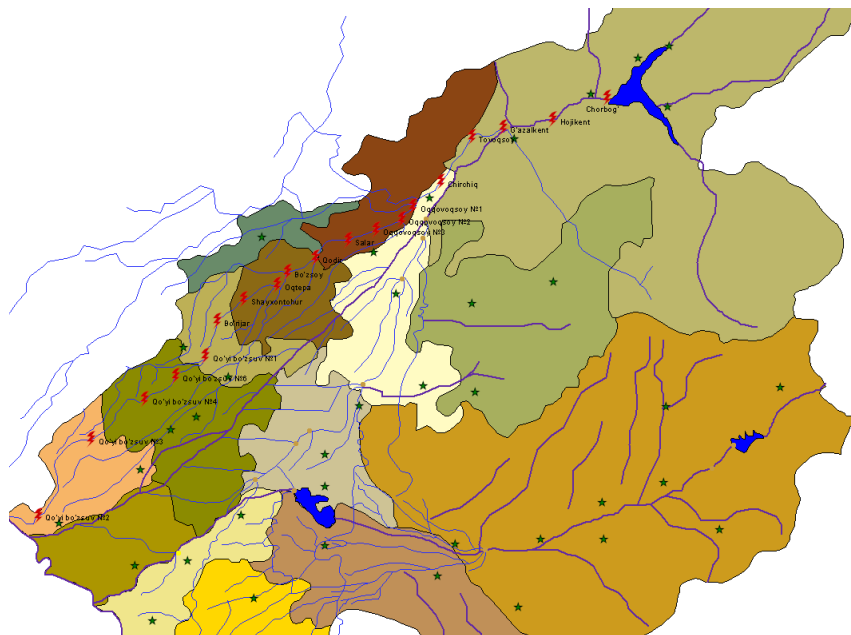


Рисунок 3.22. Общий вид ГИС карты

Входящая в состав база данных обеспечивает единство централизованного хранения информации и централизованного управления информацией, в результате чего она обладает важными преимуществами, по сравнению с традиционной системой хранения файлов, а именно:

- устраняет (до некоторой степени) возможность возникновения противоречивости хранимых данных;
- обеспечивает возможности стандартизации и унификации;
- обеспечивает условия безопасности (защиты) данных;
- обеспечивает независимость данных. Это одно из основных и существенных преимуществ базы данных, определяющее независимость приложений к изменениям в структуре хранения и способам доступа к данным.

Интерфейс обеспечивает развитую информационную поддержку пользователя, на всех этапах его работы с системой, в виде соответствующих сообщений. Пользовательский интерфейс содержит также встроенную систему помощи (help), разработанную в стандарте Windows.

Основной слой «**Гидрографические объекты**» представлен на рисунке 3.23.

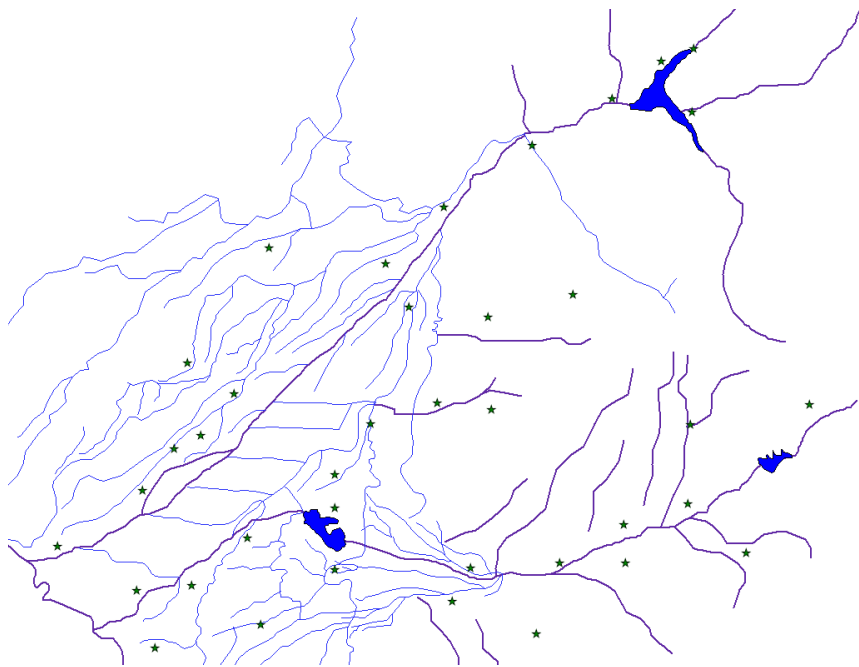
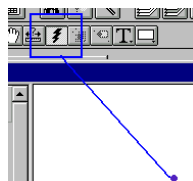
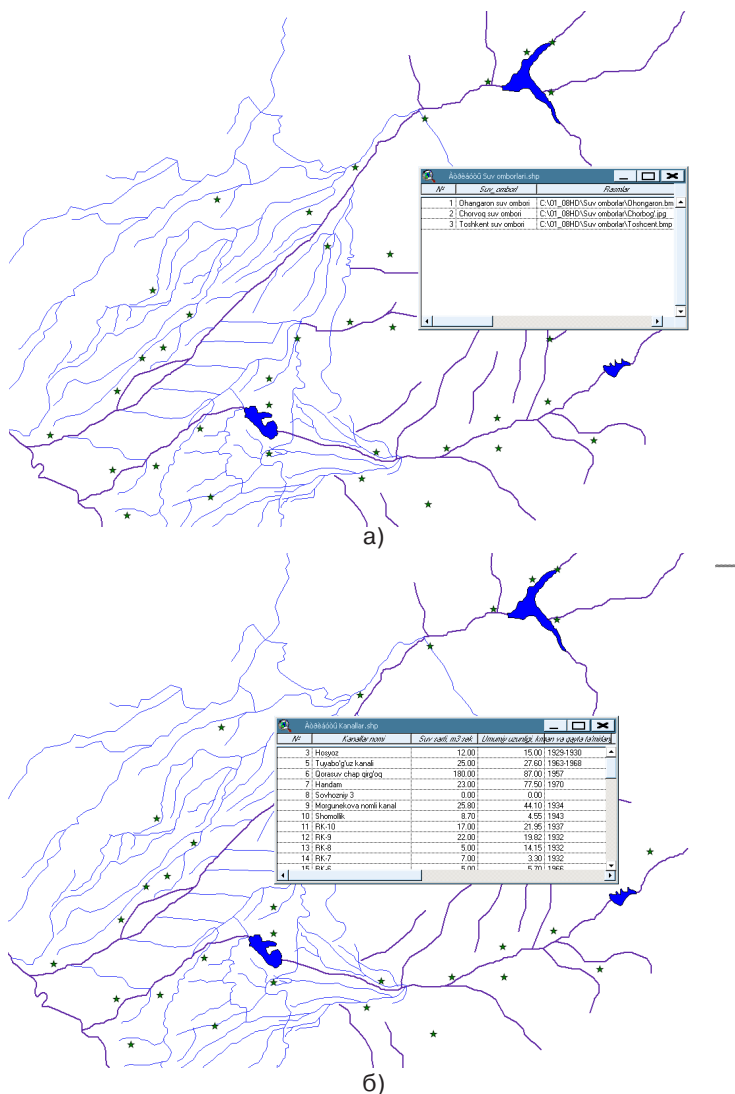


Рисунок 3.23. Слой «Гидрографические объекты»

Созданный ГИС состоит из различных слоев информационной системы с привязкой к базе данных, содержащей основные сведения для каждого слоя.

Общий вид ГИС представляет собой наложение этих слоев (рис. 3.22). Дополнительно установлены элементы идентифицирующие объекты из каждого слоя. Для каждого слоя существует собственная таблица базы данных. Оттуда есть возможность оперативно манипулировать содержащимися там данными – выводить на основной слой, просматривать дополнительную информацию. Также в этой базе реализована возможность подзагрузки графических файлов ирригационных сооружений. Индикатором возможности просмотра дополнительной графической информации служит значок «горячая связь» на панели инструментов.





Рисунки 3.24. Слои «Водохранилища» (а) и «Каналы» (б)

Он состоит из слоя «**Водохранилища**» и «**Каналы**». Каждый из них имеет свою независимую таблицу идентификаторов слоя (рис. 3.24 а и б). Структура и наполнение определяется индивидуально. Индивидуализированные данные по каждому объекту просматриваются с помощью инструмента «**инфо**».

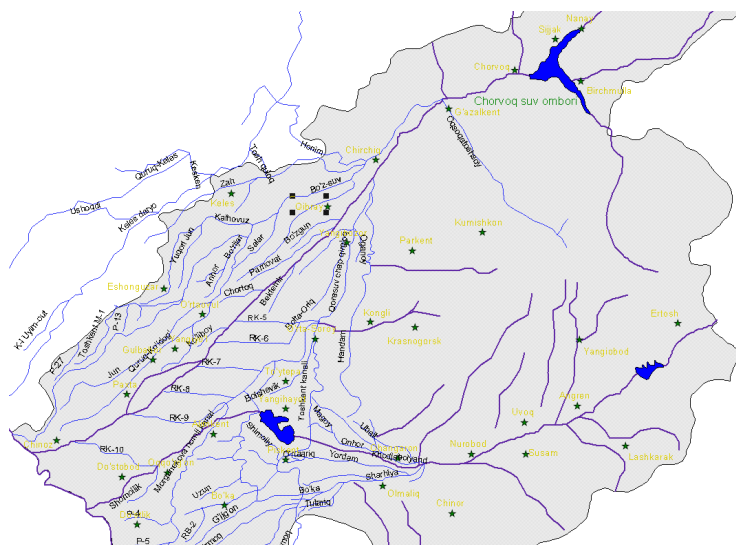


Рис 3.26. Слой «Ташкентская область»

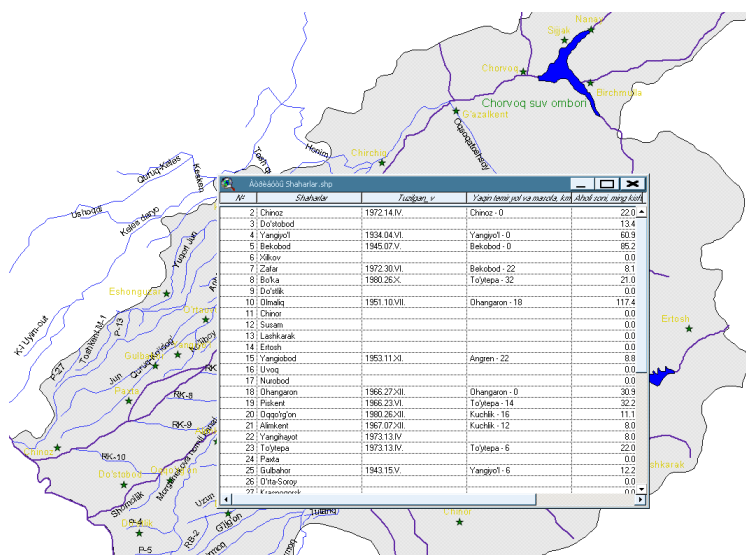


Рисунок 3.27. Слой «Города»

Слой «Гидроузлы» и идентификационная таблица объектов расположенных в области. На общей карте объекты отмечены точкой (рис. 3.28).

100

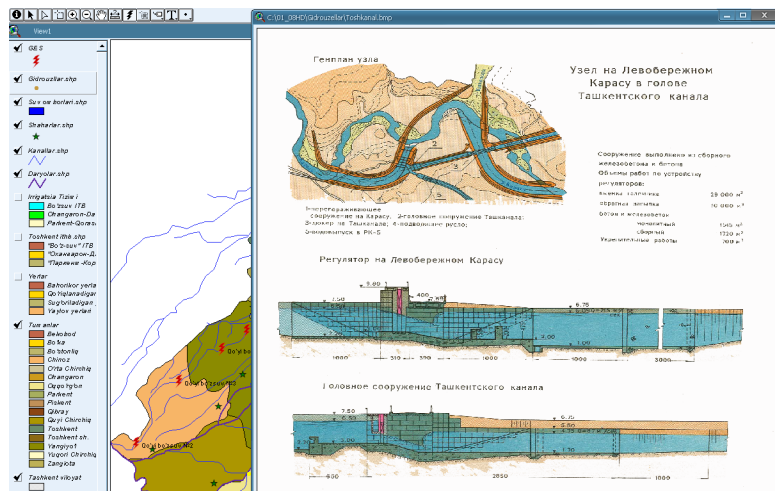


Рисунок 3.30. Графический элемент описания гидроузла на ГИС карте

Чтобы точнее определиться с расположением уже созданных объектов, создан слой «Ирригационные управления» (рис. 3.31).

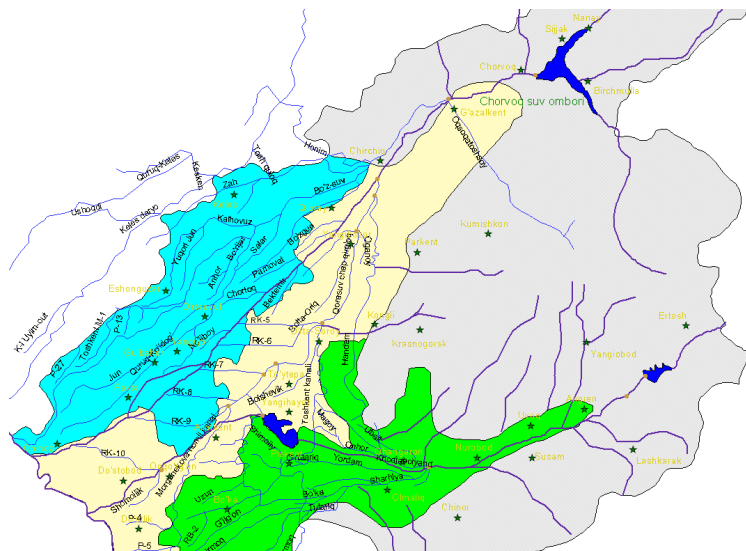


Рисунок 3.31.Слой «Ирригационные управления»

Несмотря на небольшое количество идентификаторов, этот слой является достаточно информативным. Это видно на рисунке, где отображен вывод информации по команде «**инфо**» (рис. 3.32).

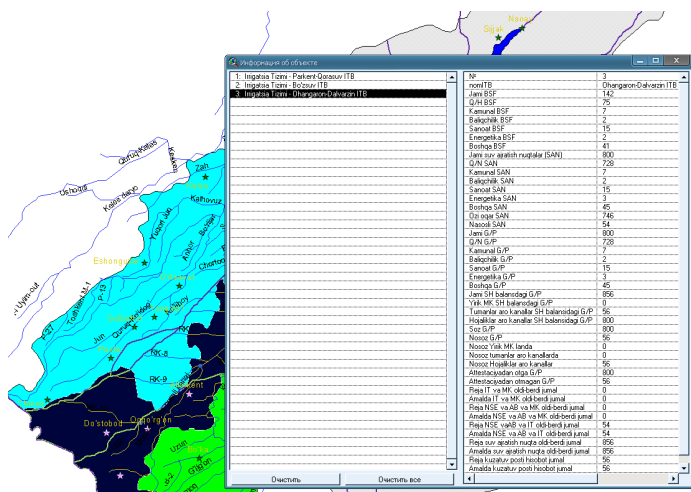


Рисунок 3.32. Вывод информации по команде «инфо»

Слой «**Районы**» показывает административное деление Ташкентской области.

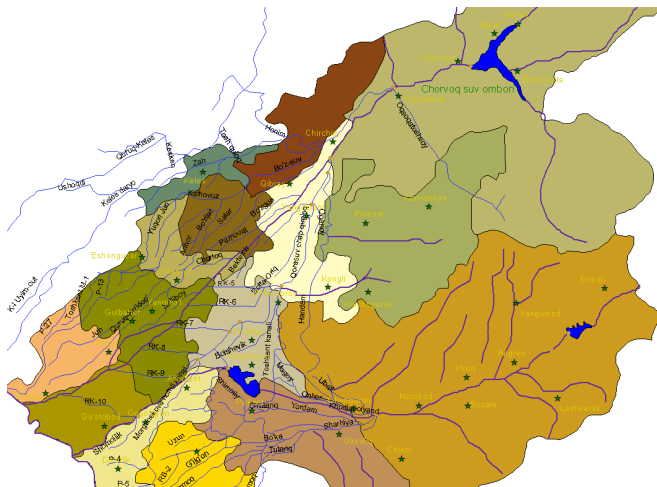


Рисунок 3.33.Административное деление
Ташкентской области на слое «Районы»

Этот слой также имеет наполненную атрибутивную таблицу. Её лучше просматривать либо открытием таблицы или используя инструмент «инфо» (Рис. 3.34).

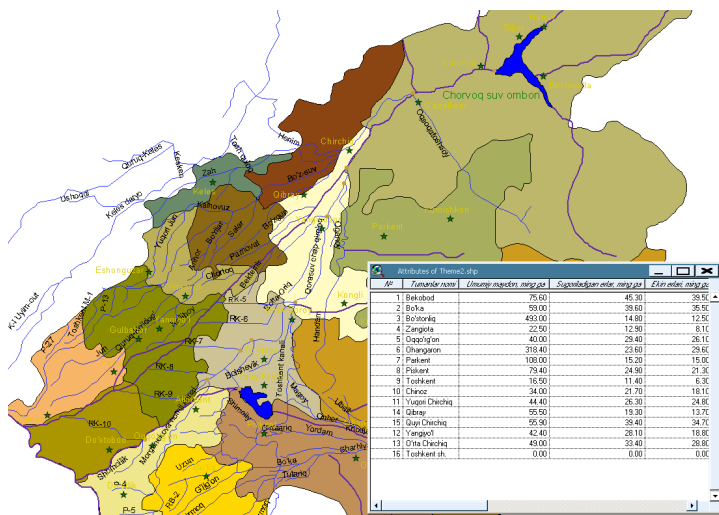


Рисунок 3. 34. Заполненная атрибутивная таблица на слое

Показателен слой «Электростанции», отображающий энерго-вырабатывающие сооружения в разрабатываемом ГИС.

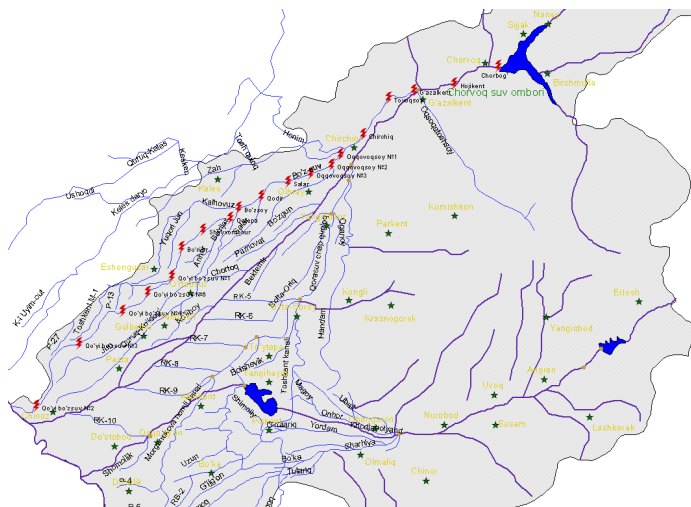


Рисунок 3.35.Слой «Электростанции»

Представленная атрибутивная таблица отображает показатели каждого из энергоузлов по различным параметрам (рис. 3.36).

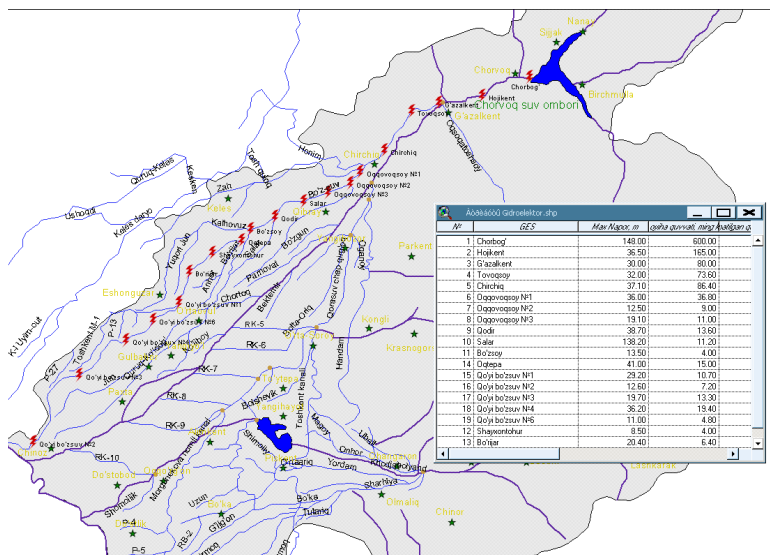


Рисунок 3.36. Атрибутивная таблица, отображающая показатели энергоузлов по различным параметрам

Информационные технологии значительно облегчают процесс принятия управленческих решений за счет увеличения доступности к информации и скорости ее анализа. С помощью имитационного и оптимизационного моделирования можно анализировать множество различных вариантов управления водными ресурсами и различные сценарии водопотребления. Информационная система – это необходимая часть в управлении водными ресурсами на бассейновом уровне, так как с ее помощью можно анализировать текущие и перспективные водохозяйственные балансы любой гидрографической единицы. Сегодня накоплено огромное количество данных, но, тем не менее, практика управления водными ресурсами ощущает определенный информационный дефицит (как по достоверности, так и по оперативности получения данных).

Выводы по главе 3

1. Произведена оценка и прогноз количественного показателя состояния надежности канала Хандам с использованием метода Бейса на основе полевых исследований и статистических данных, а также случайных диагностических гипотез. Определена вероятность разрушения каналов в зависимости от состояния прибрежных частей, с числовым значением 0,34, что дает возможность установить меры по повышению надежности канала.

2. Разработан метод определения оптимального значения среднего расхода речного стока магистральных каналов, основанный на элементах теории управления для обеспечения эффективности и надежности, а также появилась возможность обеспечения эффективного управления водными ресурсами в ирригационных каналах.

3. Разработана нестационарная одномерная гидравлическая модель для представления экспоненциального изменения расхода воды в каналах на основе случайного режима работы оросительных каналов и с использованием критерия Фруда. На основе Visual Basic разработаны вычислительные программы для управления магистральными каналами Паркент, Хандам и Ташкент, которые формируют водный баланс и предоставляют решения для различных ситуаций.

4. Разработаны гидравлические модели и графические модели геоинформационных технологий, точно описывающие распределение водных ресурсов с учетом потребностей водопользователей системы каналов и устраняющие недостатки воды на орошаемых территориях в нижней части канала, в результате чего, появилась возможность эффективного управления водными ресурсами.

5. Сформирована геоинформационная система со встроенными базами данных в гидрографическом управлении водными ресурсами. Усовершенствованы методы формирования базы данных для управления водными ресурсами магистральных каналов Ташкентской области гидрографическим методом. Разработанная географическая информационная система для обеспечения эффективного и надежного управления водными ресурсами с использованием гидравлических методов, даёт возможность эффективно использовать воду в различных условиях водоснабжения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Управление располагаемыми водными ресурсами обусловлено спецификой вод как объекта природы. Согласно принципу бассейнового управления использованием вод, благоприятное состояние водного объекта зависит от того, как осуществляется хозяйственная деятельность, используются водные ресурсы в рамках бассейна.

Планирование рационального использования водных ресурсов, включая установление лимитов водопользования, осуществляется на основе водохозяйственных балансов. Водохозяйственные балансы представляют собой расчетные материалы, сопоставляющие потребность в воде с имеющимися на данной территории водными ресурсами. Они предназначены для оценки наличия и степени использования водных ресурсов по бассейнам водных объектов и соответствующим ирригационным системам, и используются для планирования и принятия решений по вопросам их использования.

Составляются водохозяйственные балансы специально уполномоченными государственными органами управления – БУИСами. Сведения, содержащиеся в водных балансах, имеют большое практическое значение, поэтому данные по водным балансам необходимо внести в базу данных, которые составляются ежемесячно по участкам реки.

Лимиты водопользования устанавливаются на основании водохозяйственных балансов и заявленных ими потребностей в водных ресурсах и представляют собой предельно допустимые объемы изъятия водных ресурсов или сброса сточных вод нормативного качества, которые устанавливаются водопользователю на определенный срок. Важнейшей составной частью планирования использования водных ресурсов являются схемы комплексного или интегрированного использования водных ресурсов. Эти схемы должны содержать систематизированные материалы исследований и проектных разработок о состоянии водных ресурсов и их перспективном использовании и разрабатываются в целях определения мероприятий для удовлетво-

рения потребностей общества в водных ресурсах, обеспечения рационального использования, а также для предотвращения и ликвидации вредного воздействия вод.

Водохозяйственный баланс (ВХБ) является эффективным инструментом анализа водообеспеченности, обоснования параметров сооружений и режима водохозяйственных систем, соответствия водопотребления уровню комплексных мероприятий. Представляя неотъемлемую часть водохозяйственных расчетов, ВХБ позволяет судить о многих факторах, не являющихся результатами непосредственных вычислений. К примеру, величина безвозвратного водопотребления указывает на экологическую допустимость (или недопустимость) принимаемого или планируемого объема изъятия воды; введение в состав попусков параметра, указывающего на кратность разбавления сточных вод, позволяет анализировать изменение качества воды под влиянием хозяйственной деятельности. Развитие компьютерного моделирования увеличивает значимость водохозяйственных расчетов и, в частности, водохозяйственных балансов.

Для планирования и осуществления рационального использования водных ресурсов на основе водохозяйственных балансов, схем использования водных ресурсов, необходимо разработать бассейновые программы и проводить мониторинг водопользования, который представляет собой систему регулярных наблюдений за гидрологическими показателями, обеспечивающую сбор, передачу и обработку полученной информации, в целях своевременного выявления негативных процессов, прогнозирования их развития, предотвращения вредных последствий и определения степени эффективности мероприятий по улучшению водообеспеченности.

Обобщённая балансовая схема по бассейну способствует корректному распределению располагаемых водных ресурсов, позволяет выполнить расчет баланса воды по участкам. Водный баланс позволяет разобраться в реальном положении дел в бассейне, а также оценить перспективы развития и возможное состояние водообеспеченности территорий. На схемах указаны источники воды, водотоки, водохранилища, орошаемые массивы, подземные источники, источники возвратных вод. Вносятся данные по основному источнику и водозаборам.

Водобалансовая схема по источникам орошения показывает при первоначальных значениях водозабора, баланс воды на конечных участках рассматриваемых ирригационных систем, где сразу отражается сравнительный анализ величин фактических водозаборов с лимитами и требуемыми объёмами воды, рассчитанными по значениям подвешенных орошаемых площадей и составу сельхозкультур. Основная базовая схема имеет возможность перехода через гиперссылку на отдельно взятые ирригационные системы. При расчете баланса воды по ирригационной системе учитывается ее КПД. При обнаружении нехватки воды в конце водотока, можно оперативно перераспределить располагаемые водные ресурсы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атавин А. А., Букреев В. И., Васильев О. Ф., Дегтярев В. В., Яненко А. П. Гидродинамические аспекты нештатных и аварийных ситуаций на гидротехнических сооружениях; под ред. В. В. Дегтярева. Новосибирск: НГ АСУ (Сибстрин), 2009. – 327 с.
2. Абальянц С. Х. Устойчивые и переходные режимы в искусственных руслах. Д., Гидрометеиздат, 1981. – 240 с.
3. Беликов В. В., Зайцев А. А., Милитеев А. Н. Численное моделирование кинематики потока на участке неразмываемого русла // Водные ресурсы, 2001. – Т. 28. – № 6. – С. 701–710.
4. Бондарев Э. А., Воеводин А. Ф., Катышев В. В., Петлина А. В. Численный метод решения начально-краевой задачи с нелокальным граничным условием // Обратные задачи и информационные технологии. – М., 2003. – Т. 1. – № 2. – С. 31–40.
5. Бочкарев Я. В. Математические модели оперативного планирования и управления, принципы и схемы автоматизации водораспределения на магистральных (межхозяйственных) каналах при автоматизации методом динамического регулирования // Локальные системы автоматизации в мелиорации. – Фрунзе: Изд-во Кирг. СХИ, 1986. – С. 3–17.
6. Васильев О. Ф. Математическое моделирование гидравлических и гидрологических процессов в водоемах и водотоках: (обзор работ, выполненных в Сиб. Отд. РАН) // Водные ресурсы. 1999. – Т. 26. – № 5. – С. 600–611.
7. Горбунов А. А. Совершенствование системы водораспределения на оросительной сети с групповой работой ДМ «Кубань»: автореф. канд. техн. наук. – Киев, 1985. – 18 с.
8. Ищенко А. В. Анализ потерь на фильтрацию и КПД крупных облицованных каналов // Водное хозяйство. – Екатеринбург. – Том 1. 2006. – С. 53–61.

9. Иваненко Н. Г. Имитационные модели гидравлических переходных режимов при динамическом регулировании водораспределения на оросительных системах: дисс. канд. техн. наук / Новочерк. инж.-мелиор. ин-т. Новочеркасск, 1995. – 138 с.
10. Иовчу Ю. И. Методы и вероятностные модели оценки гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности оросительных каналов: автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.23.07; 05.23.16 / – М., 2010. – 24 с.
11. Иваненко Ю. Г. Устойчивые потоки в неразмываемых и размываемых руслах. Новочеркасск: НПО Югмелиорация, 1990. – 222 с.
12. Ищенко А. В. Анализ потерь на фильтрацию и КПД крупных облицованных каналов // Водное хозяйство. – Екатеринбург. – Т. 1. – 2006. – С. 53–61.
13. Ивахненко А. Е. Измерение расхода воды в открытых каналах по методу «уклон-площадь» // Мелиорация и водное хозяйство. – М., 2006. – № 6. – С. 19–20.
14. Икрамова М. Р, Ахмедходжаева И. А, Ходжиев А. Ирригационные системы Аму-Сурханского бассейна и их эффективность. Ирригация и мелиорация. 2018 г. – С. 56–59.
15. Коваленко В. В. Карасев, И. Ф. Стохастические методы речной гидравлики и гидрометрии. СПб. Гидрометеиздат, 1992. – 206 с.
16. Косиченко Ю. М., Косиченко М. Ю., Иовчу Ю. И. Эксплуатационная надежность оросительных каналов // Мелиорация и водное хозяйство. 2007. – № 4. – С. 49–50.
17. Косиченко Ю. М., Исследование гидравлически выгодного профиля полигонального сечения крупных каналов и их гидравлических сопротивлений // Природообустройство. 2014. – No. 2. – С. 85–89.
18. Кисаров О. П., Гаврилов А. А. Имитация управления процессом водораспределения на математической модели гидромелиоративной системы // Методы системного анализа в управлении водохозяйственными системами: сб. статей / НИМИ; редкол. – Новочеркасск, 1979. – С. 46–51.
19. Косиченко Ю. М. Исследования в области борьбы с фильтрацией и эксплуатационной надежности грунтовых гидротехнических

- сооружений. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2012. – № 2(06). – 9 с.
20. Картвелишвили Н. А. Неустановившиеся открытые потоки. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 126 с.
21. Корень В. И., Кучмент А. С. К постановке граничных условий при численном интегрировании уравнений Сен-Венана // Метеорология и гидрология. 1967. – № 6. – С. 105–107.
22. Косиченко Ю. М., Ковчу Ю. И., Косиченко М. Ю. Вероятностная модель эксплуатационной надежности крупных каналов // Гидротехническое строительство, 2007, – № 12, – С. 39–45.
23. Коваленко П. И. Автоматизация мелиоративных систем. – М.: Колос, 1983. – 304 с.
24. Коржов В. И. Как повысить качество управления водопользованием на оросительных системах // Мелиорация и водное хозяйство. 2007 – № 4. – С. 24–26.
25. Розенберг А. И., Грушевский М. С., Федосеев В. А. Исследования неустановившегося движения в открытых потоках // Тр. V Всесоюз. гидрол. съезда. – Л., 1976. – Т. 2: Водные ресурсы и водный баланс. – С. 65–74.
26. Леви И. И., Моделирование гидравлических явлений. Л. Энергия. 1967. – 235 с.
27. Лебедев А. Б., Фадеева Л. Н. Теория вероятностей и математическая статистика, 2011. – 53 с
28. Махмудов И., Садиев У. «Оптимизация допустимой скорости потока воды в ирригационном канале» Механика муаммолари журнали № 3–4 сон. – Тошкент, 2011 й, – 27–30 бет.
29. Милюков П. И., Калинин Г. П. Приближенный метод расчета неустановившегося движения воды водных масс /Тр. /Центр, ин-т прогнозов. – М., 1958. – Вып. 66. – С. 66–72.
30. Махмудов И., Садиев У. «Сув ресурслари бошқарувининг барқарорлиги ва самарадорлиги» Ўзбекистон Қишлоқ хўжалиги журнали – № 12. – Тошкент, 2011. – 29 с.
31. Махмудов И., Садиев У. «Сув оқимини гидравлик параметрларининг ўзгарувчан қийматларида ирригация каналларида сувдан

- фойдаланишни бошқариш» ТАЙИ Хабарномаси журнали – № 2, Тошкент, 2015й. – С. 3–6.
32. Мирзаев Н., Эргашев И. Управление водой на ирригационных системах. – Ташкент: ИВМИ-НИЦ МКВК, 2009. – 119 с.
33. Милитеев А. Н., Сладкевич М. С. Конечно- разностная схема для решения двумерных уравнений теории мелкой воды. Деп. в ИНФОРМЭНЕРГО, 1983. – № 1234. EN-D83.43
34. Махмудов И. Э. Повышение эффективности управления и использования водных ресурсов в среднем течении бассейна р. Сырдарья. / Республика илмий техник анжуман, 1–2 май 2015 й. – Тошкент.
35. Махмудов И. Садиев У. Анализ и оценка состояния управления и использования водных ресурсов в среднем течении бассейна реки Сырдарья Ekologiya Xabarnomasi журнали № 10. Тошкент, 2015й. – С. 37–40.
36. Натальчук М. Ф. Эксплуатация оросительных систем. – М.: Колос, 1971. – 144 с.
37. Олейник А. Я. Геогидродинамика дренажа / Наука думка 1981. 284 с.
38. Пахомов А. А., Колобанова Н. А., Скворцов В. Ф. Расчет переходных процессов в каналах с автоматическим регулированием водоподдачи // Изв. / – Нижневолж. агроуниверсит. комплекс: наука и высшее профес. образование. 2010. Вып 4 (20). – С. 176–181.
39. Пахомов А. А., Скворцов В. Ф. Автоматизация водораспределения на открытой внутрихозяйственной сети // Вопросы мелиорации / ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ». 2008. – № 1–2. – С. 23–33.
40. Пашаев Э. П. Влияние хозяйственных условий на оросительную систему / Сборник научных трудов № 67 Грузинского технического университета. – Тбилиси, 2012. – С. 185–187.
41. Синельников В. С., Еременко Е. В. Гидравлический расчет автоматического регулирования водоподдачи в системе оросительных каналов // Гидротехникаи мелиорация. 1975. – № 2. – С. 56–61.
42. Рожнов В. А. Автоматизация процессов водораспределения на оросительных системах. – Фрунзе: Илим, 1987. – 152 ст.
43. Садиев У. Повышение гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности крупных каналов // Гидротехника журнал Россия № 2, 2016. – С. 60–61.

44. Садиев У. Управление и моделирование магистральных каналов при изменяющихся значениях гидравлических параметров водного потока. Мелиорация и водное хозяйство Журнал Россия № 6. 2016. – С. 10–12.
45. Садиев У. “Гидравлическая модель для управления изменения глубины потока воды в ирригационных каналах” ФГБНУ ВНИИ “РАДУГА” Сборник научных докладов международной конференции молодых ученых и специалистов “Инновационные технологии и экологическая безопасность в мелиорации”. – Коломна, 2015 г.
46. Садиев У. «Деформация береговых откосов земляных каналов под действием поверхностных гравитационных волн» ТошДТУ хабарлари. 2013. (№ 3). – С. 157–161.
47. Садиев У. «Гидравлическая модель вертикального теплопереноса в гидроморфных средах обусловленного изменением уровня грунтовых вод» Irrigatsiya va Melioratsiya журналы № 1. – Тошкент, 2015 й. – С. 68–72.
48. Садиев У., Кучкарова Д. “Modeling of water resource management processes in river basins” International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology.– India, 2018.– Vol. 5.– P. 5481–5487.
49. Садиев У “Оптимизация гидравлических параметров потока воды в оросительном канале” “Ўзбекистон Республикасининг жанубий худудида сув есурсларидан самарали фойдаланишнинг муаммо ва ечимлари” мавзусидаги Республика илмий амалий анжуман 11–12 март, 2016 й. Карши. – С. 67–70.
50. Садиев У., Махмудов И. “Управление и использование водных ресурсов в среднем течении бассейна р. Сырдарья (Чирчик-Ахангаран-Келесский ирригационный район) ФГБНУ ВНИИ “РАДУГА” Сборник научных докладов международной конференции молодых ученых и специалистов “Инновационные технологии и экологическая безопасность в мелиорации”. 2016 г. – Коломна, С. 80–84.
51. Садиев У. “Натурные исследования по установлению энергетических характеристик погружных насосов на водозаборных узлах” Агро илм журналы № 4 (20). сон Тошкент, 2011 й. – 54 с.

52. Ткачев А. А., Иваненко Ю. Г., Лобанов Г. Л. Математическое моделирование активных средств управления водораспределением в открытых руслах // Изв. ВУЗов. Сев-Кавк. регион. Сер. Техн. науки. 2000. – № 1. – С. 53–56.
53. Ткачев А. А., Иваненко Ю. Г., Яновский А. С. Способ активного управления водораспределением в магистральных каналах оросительных систем с головной насосной станцией // Мелиорация и водное хозяйство: материалы регион. науч.практ. конф., посвящ. 95-летию мелиоративного образования на Юге России / ФГОУ ВПО Новочерк. гос. мелиор. акад. – Новочеркасск: НПО «ТЕМП», 2003. – Вып. 2. – Т. 2. – С. 86–90.
54. Ткачев А. А. Программный комплекс управления водораспределением в магистральных каналах оросительных систем // Информационные технологии в обучении и сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-произв. конф. Новочеркасск, 2003. – С. 48–50.
55. Ткачев А. А. Управление водораспределением в оросительных магистральных каналах // Вестник Сарат. госагр. ун-та. 2010. – № 6. – С. 24–27.
56. Ткачев А. А., Иваненко Ю. Г. Расчёт переходных процессов в бьефах магистрального канала при различных схемах регулирования для способа активного управления водораспределением // ФГНУ ЦНТИ Мелиоводинформ. 2006. – № 3–4. – С. 56–61.
57. Франция патент 2258699 от 20.06.93. 14 с. “Способ динамического регулирования движения воды в водопроводящей сети”.
58. Штеренлихт Д. В. Гидравлика: учеб. для вузов. 3-е изд., перераб., доп. – М.: Колос, 2006. – 656 с.
59. Шестаков В. М. Теоретические основы оценки подпора водопонижения и дренажа. – М. изд-во, МГУ 1965. – 233с
60. Щедрин В. Н., Косиченко Ю. М., Колганов А. В. Эксплуатационная надежность оросительных систем. – Ростов на Дону: изд-во Сکنц ВШ, 2004. – 388 с.
61. Щедрин В. Н. Управление водопользованием на оросительных системах, современное состояние и пути совершенствования /

- В. Н. Щедрин, В. И. Селюков // Сб. науч. тр. ЮжНИИГ иМ. – Новочеркасск, 2001. – С. 34–36.
62. Щедрин В. Н., Ю. М. Косиченко, Ю. И. Иовчу. Методика расчета гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности оросительных каналов / – М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2008. – 55 с.
63. Маковский Э. Э. Автоматизация процессов водораспределения на оросительных системах. – Фрунзе: Илим, 1987.
64. ABBOT M. B. The application of desing systems to problems of unsteady flow in open channels. Int. Symp. on Unsteady Plow in open channels, BHRA Fluid Engg., Gran-field, UK, 1976. – 25 p.
65. Ainstworth R. A. Water quality changes in piped distribution systems. World Health Organization, Geneva, Switzerland, 2002. – 214 p.
66. Assessing Microbial Safety of Drinking Water: Improving approaches and methods, WHO/OECD/IWA, 2003. – P. 24–45.
67. Ausaf Rahman, Mr. Nelson Ekane, Ms. Lovisa Selander and Mr. Ernest Nkengayi Ategwa, Special focus theme report – sanitation // Progress and prospects on water: for a clean and healthy world with Special Focus on Sanitation, Stockholm, August, 17–23, 2008. – P. 7–12.
68. Bondarev E., Sleptzov S. Peculiarities of the dynamics of a gas hydrate layer on pipe walls // Russian J. of Engineering Thermophysics, – V. 10. 4, 2002. – P. 337–343.
69. Davison A., Howard G., Stevensrn M., Callan P., Kirby R., Deere D., Bartram J. Water Safety Plans. WHO/SHE/WSH/02/09. World Health Organization, Geneva, Switzerland, 2002. – P. 46–54.
70. Diagnostic Report for Preparation of the Regional Strategy of Rational and Efficient Use of Water Resources in Central Asia/Special UN Program for the Economies of Central Asia. Project Working Group on Energy and Water Resources of the EEC UN. New York and Geneva, 2003. – 74 p.
71. Stoker Dj. Волны на воде / пер. с англ. М.-Л: Изд-во иностр.л-ры, 1959. – 217 с.
72. Shao Mingan, Horton Robert. Exact solution for horizontal water redistribution by general similarity//Soil Sei Soc. Amer. J., 2000. – 64. – № 2. – P. 561–564.

73. SaritaSeshagiri, Bangalore – will its boom cause a waterless doom // Water resources journal, ST/ESCAP/SER.C/217. December, 2005. – P. 50–57.
74. Sauer T., Moorejr P., Ham J., Bland W., PruegerJ., West C. Seasonal water balance of an Ozark hilislope // Agricultural Research Servic, 2000.
75. Tanigawa T. Studies on the Effect of Saving Water in mulchig culture under the Sub-irrigation Method by Using Negative Pressure Difference Tanigawa T., Yabe K. // Bulletin of University of Osaka Prefecture, Ser.B. – Vol. 44. – 1999. – Osaka. Japan.
76. The Protocol on Water and Health // Progress and Prospects on Water: For a Clean and Healthy World. Stockholm, 2008. – P. 44–47.
77. Garcia-Navarroa P., Saviron J.M. (2012). Mc Cormack's method for the numerical simulation of one-dimensional discontinuous unsteady open channel flow. Journal of Hydraulic Research, – Vol. 30. – Issue 1.
78. Jin Ming and Fread D.L. (2000). "Discussion on the Application of 1 Relaxation Scheme to Wave-Propagation Simulation in Open-Channel Networks", Journal of Hydraulic Eng., ASCE, – 126(1), 89–91.
79. Liakopoulos A. C. Theorical approach to the solution of the infiltration problem, Bull Internat / Liakopoulos A, C. Assoc. Scient. Iludron.2006. – № 6.
80. Ming Jin, Samuel Coran and Jack Cook (2006). New One-Dimensional Implicit Numerical Dynamic Sewer and Storm Model, Haestad Methods Inc, 37 Brookside Road, Waterbury, CT 06708.
81. Manoliadis O. Environmental Indices in Irrigation Management, Environmental Management, – 28(4). 2001. – P. 497–504.
82. Morris E. M., Woolhiser D.A., (2012). Unsteady one-dimensional flow over a plane: Partial equilibrium and recession hydrographs. Water resources research, – Vol. 16. – No. 2. – P. 355–360.
83. Or U. Drip irrigation as a powerful tool for environmental protection International Water and Irrigation Review / Or U.2006. – Vol. 16. – No 1. – Israel.
84. Philip I.R. Numerical solution of equations of the diffusion type with diffusiv-ity concentration dependend / Philip I.R. //I. Frans. Farady Soc. 2005.

85. Perelman L. Cross Entropy multiobjective optimization for water distribution systems design // L. Perelman, A. Ostfeld, E. Salomons. 2011.
86. Pioss L. (2013). "Canal automation using the electronic filter level offset (El -FLO) method". Planning, operation, rehabilitation and automation of irrigation water delivery systems, ASCF Symp. Proc., Portland, Oreg. – P. 164–175.
87. Schmitz and Edenhov J. Flood routing in the Danube River by Implicit Method of Characteristics (IMOC). Proc. Int. Conf. On Appl. Math. Modelling Mitteilungen des Inst. Fur Meereskunde der 3rd Univ. West Germany, 2005.
88. Unsteady Flow in Open Channels. Edited by Mahmod K. and Yevdjovich V. Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, 2015. – V. 1. – V. 2.
89. Walker R. E. (2014). "Long crested weirs" Planning, operation, rehabilitation and automation of irrigation water delivery system., ASCE Symp. Proc.
90. Yen B. C., (2015). "Hydraulics of Sewer System", in Stormwater Collection Systems Design Handbook, ed. Larry W. Mays, Mc Graw-Hill, – New York.