ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Махмудов Илхомжон Эрназарович
Муродов Навруз Курбонович
Садиев Умиджон Абдусамадович
Казаков Эргаш Ахмадович

RS Global

Warsaw 2022

Махмудов Илхомжон Эрназарович
Муродов Навруз Курбонович
Садиев Умиджон Абдусамадович
Казаков Эргаш Ахмадович

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

МОНОГРАФИЯ

RS Global
Warsaw, Poland
2022

УДК 628.218
DOI: 10.31435/rsglobal/046

Монография рекомендована к изданию решением Научного Совета Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем Протокол № 20 от 20 декабря 2021 года

Рецензенты:
д.т.н., профессор О. Я. Гловацкий, Заведующий лабораторией "Насосные станции и энергетика" Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем
д.т.н., профессор Д. Т. Палуанов, Ташкентский государственный технический университет, заведующий кафедрой "Гидроэнергетика и гидравлика"

И. Э. Махмудов, Н. К. Муродов, У. А. Садиев, Э. А. Казаков.
Гидравлические аспекты обеспечения надежности и безопасности систем питьевого водоснабжения – Warsaw: RS Global Sp. z O.O., 2022. – 112 с.

ISBN 978-83-962343-8-4 (eBook)

Монография посвящена гидравлическому описанию неустановившегося движения воды в водоводах системы питьевого водоснабжение. Приводятся выводы гидравлических моделей, позволяющие определить состояние централизованных систем водоснабжения, а также изменение их надежности и безопасности. Материал, изложенной в монографии, представляет большой интерес для сектора водного, коммунального хозяйства и позволит решить большое количество практических задач в условиях водного дефицита. Книга может служить пособием для научных работников и студентов старших курсов.

The monograph contains the description of the unsteady water flow movement in the drinking water supply system. The description of hydraulic models are provided, which allow to determine the state of centralized water supply systems, as well as changes in their reliability and safety. The materials presented in the monograph is of great interest for the water sector and communal services and will allow solving a large number of practical issues at the water scarcity conditions. The book can be used as a manual for scientists and students.

© И. Э. Махмудов, 2022
© Н. К. Муродов, 2022
© У. А. Садиев, 2022
© Э. А. Казаков, 2022
© RS Global Sp. z O.O., 2022

ISBN 978-83-962343-8-4 (eBook)

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

ГЛАВА 1 ОБЗОР РАБОТ, ПОСВЯЩЕННЫЙ ИССЛЕДОВАНИЯМ ПРОБЛЕМ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ 8

1.1 Состояние использования водных ресурсов Республики Узбекистан 8
1.2 Обзор работ, посвященные проблемам надежности и безопасности системы питьевого водоснабжения 10
1.3 Анализ работ, посвященные исследованиям диффузионного перемешивания жидкости . 17
1.4 Мероприятия по повышению надежности и безопасности водоснабжения, проводимые в водопроводящих и водоотводящих сетях городского водоснабжения 22
Выводы по главе 1 25

ГЛАВА 2 ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ г.КАРШИ И КАШКАДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ ... 26

2.1. Особенности системы питьевого водоснабжения г. Карши административного центра Кашкадарьинской области 26
2.2 Становление системы водоснабжения г. Карши 27
2.3 Источники питьевого водоснабжения г. Карши и Кашкадарьинской области 28
2.4 Закономерности формирования качества воды реки Кашкадарья и Талимарджанского водохранилища 32
Выводы по главе 2 41

ГЛАВА 3 ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ БАКТЕРИЙ В ВОДЕ СИСТЕМЫ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ 42

3.1. Динамика диффузионного перемешивания концентрации бактерий в питьевой воде 43
3.2 Изменение объемной концентрации бактерий в водоводах при организации подачи постоянного расхода в постоянной по времени притока воды 48
3.3 Динамика изменения концентрации бактерий в водоводах при подаче воды в систему насосной станцией с переменным режимом работы 49
3.4 Способы регулирования подачи свежей воды в систему питьевого водоснабжения 53
3.4.1 Оперативное регулирование изменения подачи расхода воды в систему питьевого водоснабжения 53
3.4.2 Экспоненциальные законы подачи расхода насосной станции третьего подъема 54
3.4.3 Экспоненциально понижающий закон подача расхода воды 56
Выводы по главе 3 58

ГЛАВА 4 НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ 59

4.1 Натурные исследования подземных источников питьевого водоснабжения 59
4.2 Натурные исследования по установление энергетических характеристик систем водоподъема на водозаборных узлах 63
4.3 Натурные исследования состояния напорных водоводов системы питьевого водоснабжения г. Карши 65
4.4 Экспериментальные исследования по определению гидравлического сопротивления труб питьевого водоснабжения 68
4.5 Исследование бактериологических показателей воды. 69
Выводы по главе 4 70

ГЛАВА 5 ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО УСТАНОВЛЕНИЮ ДИНАМИКУ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ БАКТЕРИЙ РАЗЛИЧНОГО ХАРАКТЕРА В СИСТЕМЕ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ 71

Выводы по главе 5 75

ГЛАВА 6 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ 76

6.1 Мероприятия по повышению надежности и безопасности водоснабжения проводимые в источниках водоснабжения 76
6.2 Мероприятие осуществляемые в водоводах системы питьевого водоснабжения 77
Выводы по главе 6 77

ВЫВОДЫ 78

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА 80

ПРИЛОЖЕНИЯ 81

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 82

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 109

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 110

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее ценных природных богатств является вода. Особенную ценность она представляет для Республики Узбекистан, расположенной в зоне недостаточного естественного увлажнения территорий. Узбекистан, как часть Центральной Азии–одного из маловодных регионов мира освоил располагаемые весьма ограниченные водные ресурсы практически полностью. Сложившийся весьма существенный дефицит водных ресурсов ещё более усугублялся их качественным истощением. Этот процесс весьма сложный и сопровождается засолением и загрязнением поверхностных и подземных вод.

На Зарафшане процессы засоления вод практически достигли створа г. Хатырчи и не так уж медленно продвигаются к Дамходжинскому створу, ниже которого ныне размещается головной водозабор системы водоснабжения Навоийской и Бухарской областей.

По руслу Кашкадарьи уже почти 50 лет за нижним бьефом Чимкурганского водохранилища текут солоноватые воды. Такое же положение дел складывается в нижнем течении Сурхандарьи.

На Амударье в нижнем течении, в створе Туямуюнского водохранилища, минерализация речных вод достигла в среднегодовом разрезе почти допустимых пределов, а в межень маловодных лет устойчиво их превышала. Повышается минерализация воды р. Амударьи и на выходе из верхнего течения, но правда ещё не достигла предельно допустимых норм.

Повышение минерализации вод происходит за счет увеличения концентраций ионов магния, натрия сульфатов и хлоридов. По этим показателям, а также по общей жесткости, вода становится не пригодной для использования в водоснабжении, а также и для орошения. В значительной мере статистика роста желчекаменной и почечнокаменной болезней связана с общим увеличением общей жесткости питьевой воды.

На территории Узбекистана функционирует разнообразные источники загрязнения поверхностных и подземных вод - основных источников питьевого водоснабжения: промышленность, энергетика, автотранспорт и другие инженерные коммуникации, добыча и переработка минерального сырья и углеводородов, сельскохозяйственное производство, переработка продуктов растениеводства и животноводства, а также жилищно-коммунальная инфраструктура по «утилизации» различных бытовых отходов. По этой причине на территории Узбекистана проявляются все виды загрязнения поверхностных и подземных вод: биологическое, химическое, радиоактивное, тепловое и их сложно - построенные сочетания.

Биологический вид загрязнения чаще связан с патогенными микробами и вирусами, нормированная часть которых учитываются при выборе источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Нынешняя обстановка по этому виду загрязнения достаточно напряженная и характеризуется тем, что практически все поверхностные источники водоснабжения требуют применения обеззараживания воды.

Наиболее сильно проявляется в водных объектах Узбекистана химические загрязнения, как из промышленных источников, так и из сельскохозяйственных, а также коммунально-бытовых. Вода загрязнена тяжелыми металлами, цианидами, родонитами, метаболитами пестицидов, гербицидов, а также других ингредиентов, лимитируемых по обще санитарным и органолептическим признакам. Радиоактивное загрязнения вод проявляется как повышение концентрации урана, например, в районе Приаралья до $10^{-4} \div 10^{-5}$ г/л. Тепловое загрязнение вод имеет место у тепловых электростанций с прямоточной системой охлаждения и металлургических производств. На этом гидрохимическом фоне в Узбекистане сформировалась весьма сложная обстановка с водоснабжением населения. Проблема доброкачественной питьевой воды является одной из самых острых социальных и экологических проблем, которые предстоит решить Узбекистану и другим государствам региона.

Оценки показывают, что на хозяйственно-питьевые цели в Узбекистане используется 1,9-2,0 км^3/год воды. Охват населения централизованным водоснабжением по состоянию на сентябрь 2017 года в среднем составляет 79,2 % без учета г. Ташкента.

Проведенные исследования показывают, что основной причиной низкого уровня водоснабжения населения является техническое состояние систем водоподготовки, транспортировки воды и низкий уровень учета воды. Техническое состояние систем водоснабжения находится в крайне тяжелом положении. Так, насосно-силовое оборудование имеет значительный износ (до 70%), морально устарело, энергоемкость по сравнению с современными насосами на 15-20% больше. Срок службы погружных насосов, выпущенных в странах СНГ, не превышает 1-2 года.

Сегодня из существующих 10197 км магистральных водоводов 3326 км или 32,6%, из 43025 км водопроводных сетей 14178 км или 32,9 % требуют замены, кроме этого, возникает острая необходимость строительство 14 281 км новых водопроводных сетей. Из существующих 10762 скважин 3500 или 33% не работает, из 12886 шт. насосов 2815 шт. или 22% не работает.

Анализ существующего состояния системы питьевого водоснабжения республики, показывает, что из-за старения основных средств и износа технологической части системы имеющейся мощности водопроводов используются только на 49,6 %. При этом в водопроводах и сетях допускаются значительные потери воды, которые в среднем по Узбекистану составляют 26,4% или более 1,1 млн. $м^3$/сут. Наиболее значительное влияние на эффективность использования воды оказывают ее потери и утечки в системах транспортировки по напорным водоводам. Это, прежде всего, происходит из-за изменений гидравлического режима движения потока воды в трубах, обусловленных появлением в процессе эксплуатации дополнительных гидравлических сопротивлений, это в конечном итоге приводит к значительным потерям напора воды. Поэтому, несмотря на имеющиеся проектные мощности, население испытывает недостаток воды, в некоторых городах вода подается по графику, на верхние этажи вода не поднимается. Режим потребления воды в сельской зоне ещё более сложный, в большинстве сельских населенных пунктах вода подается по 2-4 часов в сутки.

В условиях ежегодного роста населения и развития промышленности увеличиться спрос и в водопотреблении. Возрастающий спрос населения на безопасную питьевую воду обуславливает совершенствование существующих систем питьевого водоснабжения и строительства новых перспективных мощностей.

Учитывая важность сектора питьевого водоснабжения для социально-экономического развития страны, Правительство Республики Узбекистан последнее время уделяет большое внимание обеспечению надлежащей эксплуатации водопроводных сооружений и сетей, их реконструкции и развитию. На указанные цели из средств государственного бюджета ежегодно выделяются капитальные вложения.

Так, в соответствии с Инвестиционной Программой в 2016 году для реконструкции и строительства систем водоснабжения сельских населенных пунктов (СНП) было выделено и освоено 13,8 млрд.сум и на развитие межрегиональных водопроводов агентства «Узкоммунхизмат» - 2,4 млрд. сум. Кроме того, для восстановления и ремонта систем водоснабжения СНП было выделено и освоено 8,8 млрд. сум. В 2007 году на указанные цели в общем предусмотрено выделение 32,2 млрд. сум.

Целенаправленная работа в этом направлении позволит сократить расходы воды, более рационально использовать мощности водопроводов и соответственно сократить государственные капитальные вложения на развитие водоснабжения республики.

Между тем обеспечение населения безопасной питьевой водой и повышение надежности функционирования систем питьевого водоснабжения возможны только при условии научно- обоснованной оценки состояния и разработки эффективных мер по совершенствованию функционирования систем питьевого водоснабжения.

Актуальность данного исследования обусловлена, прежде всего, нарастающим дефицитом и качественным истощением водных ресурсов, а также наличием серьезных проблем в структуре централизованных систем питьевого водоснабжения Республики Узбекистан.

Всесторонний анализ научной литературы показывает, что проблемам надежности и безопасности элементов, а также всего комплекса систем питьевого водоснабжения

посвящено множество работ зарубежных и отечественных исследователей. Полученные ими научные результаты отражены в научных публикациях и в нормативных документах. Вместе с тем целый ряд вопросов все ещё остается недостаточно изученным. К их числу следует отнести снижение надежности функционирования подземных источников водоснабжения, которые находятся в тесной гидравлической связи с поверхностными источниками. Несмотря на значительное число работ по проблеме создания надежных сооружений: насосных станций, подземных напорных трубопроводов и др., при чрезвычайных ситуациях (особенно после землетрясения 1966 г. в г. Ташкенте, аварий и других непредвиденных обстоятельств), не изученными остаются вопросы снижения надежности водоподачи по напорным трубопроводам из-за засорения внутренней части труб, а также нарушения безопасности в связи с наличием в продуктах засорения водоводов биологической субстанции. Гидравлические аспекты снижения надежности и безопасности питьевого водоснабжения населения, к сожалению, оставались не исследованными.

Целью монографии является выявление особенностей снижения надежности и состояния безопасности питьевой воды в системах водоснабжения, обусловленных изменениями гидродинамических параметров потока и бактериологических показателей воды в напорных водоводах, установление закономерностей изменения гидравлических и качественных показателей потока воды, разработка научно обоснованных предложений по созданию надежной и безопасной системы питьевого водоснабжения населения.

В создании данной монографии приняли участие сотрудники Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем: введение, главы 1, 2, 3 - монографии написаны И.Э. Махмудовым, глава 4 - Н.К. Муродовым, глава 5 - У.А. Садиевым, глава 6 - Э.А. Казаковым.

На основе проведенных натурных и теоретических исследований определены основные особенности снижения надежности и нарушения безопасности систем централизованного водоснабжения городов и населенных пунктов Узбекистана. Доказано, что неблагоприятные гидравлические условия функционирования сети водоснабжения являются главными определяющими факторами, приводящими к нарушению режима надежности и безопасности систем водоснабжения населения. Впервые установлены гидравлические закономерности, позволяющие определить состояние централизованных систем питьевого водоснабжения населенных пунктов, а также изменение их надежности и безопасности. Разработаны модели и технологии регулирования состояния надежности и безопасности систем питьевого водоснабжения. В рамках исследования установлены и устранены основные источники снижения надежности и безопасности централизованных систем питьевого водоснабжения населения городов и сельсконаселенных пунктов. Разработаны способы регулирования состояния надежности и безопасности водоснабжения населения в условиях острого дефицита питьевой воды в Республике Узбекистан.

ГЛАВА 1 ОБЗОР РАБОТ, ПОСВЯЩЕННЫЙ ИССЛЕДОВАНИЯМ ПРОБЛЕМ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

1.1 Состояние использования водных ресурсов Республики Узбекистан

Анализ фондового материала и данные Минсельводхоза, Госкомприроды и Агентство «Узкоммунхизмат» Республики Узбекистан о состояние формирования и использования водных ресурсов для экономики страны показывают, что суммарный расчетный располагаемый для использования объем водных ресурсов по Узбекистану составляет: из речного стока – 55,1 км^3; из подземных вод – 7,8 км^3; из возвратных вод – 4,1 км^3; итого: 67,0 км^3.

Использование воды в отраслях экономики страны. Лимитами для: коммунально-бытовой отрасли установлено - 2,9 млрд.м^3, что составляет 5,2 % от общего объема; энергетики - 4,09 млрд. м^3 или 7,3 % (в т.ч. безвозвратное водопотребление - 0,124 млрд. м^3 или 0,2 %); промышленности - 0,77 млрд.м^3 или 1,4 %; рыбного хозяйства - 0,40 млрд.м^3 или 0,7 %; сельское хозяйство - 52,1 млрд.м^3 или 92,5 % от общего объема водных ресурсов Республики. Острой проблемой Республики Узбекистан является дефицит и загрязненность водных ресурсов. Реки, каналы, водохранилища республики и даже подземные воды испытывают на себе разностороннее антропогенное воздействие.

Главные водные артерии республики стали практически непригодными для организации питьевого водоснабжения из-за отсутствия систематических попусков пресной воды и сброса промывных вод с орошаемых земель с повышенной минерализацией, загрязнения пестицидами и минеральными удобрениями.

Качество речных вод, поступающих с горных территорий их формирования (в пределах Республики Узбекистан), очень высокое – практически ничем эти воды не загрязнены и минерализация их очень мала. Однако, по мере продвижения вниз, качество воды резко ухудшается. Большинству рек региона в их среднем и нижнем течениях присуща повышенная минерализация воды – от 1 – 1,5 г/л в среднем течении до 2 г/л и более в нижнем течении.

Большинство водотоков республики является умеренно-загрязненными или загрязненными, в соответствии с принятой классификацией. Сильно загрязнены коллекторно-дренажные воды Республики Каракалпакстан и Бухарской области.

Реки бассейна Аральского моря практически все являются трансграничными водотоками. В бассейн реки Амударья входят бассейны рек Сурхандарья, Шерабад, Кашкадарья, Заравшан, из них только бассейны рек Кашкадарья и Шерабад полностью расположены на территории Узбекистана.

Химический состав воды основной реки бассейна – Амударьи, формируется в значительной степени под влиянием загрязнений, поступающих в реку с сельскохозяйственными стоками с территории Туркменистана и Таджикистана.

По величине ИЗВ качество воды реки Амударьи в створе Термез сохраняется стабильно на уровне 1996 года, II класс – чистых вод, а в остальных створах – III класс умеренно загрязненных вод и II класс в 2001 г.

Река Амударья в створе теснины Тюямуюн (створ, который может характеризовать ее загрязнении на границе Узбекистана с Туркменистаном), имеет увеличение концентраций по нефтепродуктам, азоту аммонийному, минерализации, меди, Альфа ГХЦГ и Гамма ГЦХГ.

Частично сток реки Сурхандарья формируется на территории Таджикистана. Химический состав воды реки обусловлен сбросами сточных вод промышленных и коммунальных объектов г. Денау, г. Термез г. Шурчи и сельхоз стоками. По величине ИЗВ качество воды реки Сурхандарья от истока к устью меняется от II класса чистых вод к III классу умеренно загрязненных. Река впадает в Амударью на территории Узбекистана. Оценить влияние ее стока на качество реки Амударьи не представляется возможным из-за отсутствия створа наблюдений на границе.

Река Заравшан наиболее подвержена трансграничному влиянию. В зоне формирования стока реки расположены объекты горно-обогатительного комбината Республики Таджикистан,

которые загрязняют реку токсичными металлами, сурьмой, ртутью. Мониторинг за специфическими ингредиентами (сурьма, ртуть, кадмий, стронций и др.) организован с 2002 г.

Качество воды в реке ниже г. Навои по ИЗВ улучшилось из IV класса в 2000 г. перешло в 2001, 2002, 2003 и 2015 гг. в III класс умеренно загрязненных вод, а в 2014 г. даже достигало II класс чистых вод. Река Заравшан до Амударьи не доходит, сток полностью разбирается на орошение.

По этим причинам в Республике в качестве источников водоснабжения, в основном, используются подземные воды. Подземные воды, которые образуются за счет инфильтрации воды этих рек и оросительных каналов имеют так же повышенное содержание солей и жесткость. В последние десятилетия поверхностные и подземные источники воды Узбекистана подвергаются интенсивному антропогенному загрязнению. Ухудшение качество воды источников привело к тому, что во многих регионах питьевая вода не отвечает гигиеническим требованиям, как по санитарно-химическим, так и по санитарно-биологическим показателям. По данным Министерство здравоохранения Узбекистана около половины населения страны вынуждено использовать недоброкачественную питьевую воду. К неблагоприятным регионам относятся Навоийская, Бухарская, Кашкадарьинская области, особенно населения, проживающие на территории Приаралья. Проблема обеспечения населения Узбекистана безопасной питьевой водой нормативного качества стала одной из самых острых проблем современного общества.

Различные аспекты использования и охраны водных объектов исследовались в работах [1, 10, 11]. В своих выводах и суждениях авторы исследований отмечают, что состояния водных ресурсов вызывают серьезную тревогу, что повсеместно наблюдается ухудшение качество воды в источниках, они становятся не пригодными для использования питьевого водоснабжения населения.

Для решения водоснабжения регионов, где отсутствуют источники воды, соответствующие питьевому качеству, были запроектированы, построены и строятся региональные и групповые водопроводы [12, 13].

Это региональные водопроводы:

- Туямуюн-Нукус-Чимбай-Тахтакупыр проектная мощность 340 тыс. м^3/сутки (введены в эксплуатацию ВС на 140 тыс. м^3/сутки с водоводами протяженностью 569 км);
- Туямуюн-Ургенч-Гурлен-Мангит, проектная мощность 400 тыс. м^3/сутки (введены в эксплуатацию ВС на 300 тыс. м^3/сутки с водоводами протяженностью 338 км);
- Дамходжинский, Заравшанского месторождения подземных вод, проектная мощность 300 тыс. м^3/сутки для обеспечения водой Бухарской, Навоийской и западной части Самаркандской областей (введены в эксплуатацию водозабор на производительность 215 тыс. м^3/сутки, водоводы протяженностью 504 км, 2 нитки до г. Навои D=1400 мм и одна нитка от г. Навои до г. Бухары D=1400 мм);
- Водопровод с подземным водозабором из Китабо-Шахрисябзской впадины с производительностью 270 тыс. м^3/сутки и водоводами, протяженностью 368 км до г. Карши и до г.Мубарека;
- Ходжаипакский водопровод в Сурхандарьинской области с производительностью 69 тыс. м^3/сутки и водоводом 211 км в основном для обеспечения водой сельского населения и райцентров;
- Сельские групповые водопроводы с водоводами протяженностью 3382 км, мощностью 790 т.м^3/сут.

Значительная часть воды, подаваемой региональными и групповыми водопроводами, используется для водоснабжения сельского населения и составляет 578 тыс.м^3/сут. Анализируя существующее состояние водоснабжения населения республики необходимо отметить следующее, что имеющиеся мощности водопроводов в целом, используются только на 49,6%.

При таком низком использовании мощностей водопроводов допускаются также значительные потери воды, которое в среднем по Узбекистану составляют 26,4% или более 1,1 млн. м^3/сут, а в Бухарской 34,6%, в Хорезмской области более 33,9%, Республике

Каракалпакстан 32,8%. Наиболее значительное влияние на эффективность использования воды оказывают ее потери на утечки.

Отсутствие достаточного учета в жилфонде также значительно влияет на нерациональное использование воды, особенно в летнее время, когда питьевая вода используется на полив зеленых насаждений, охлаждение продуктов и другие нужды. В сельской местности практически отсутствует учет расходования воды потребителями, частично он ведется лишь в зоне группового водоснабжения.

Учитывая важность сектора питьевого водоснабжения для социально-экономического развития страны, Правительство Республики Узбекистан последнее время уделяет большое внимание обеспечению надлежащей эксплуатации водопроводных сооружений и сетей, их реконструкции и развитию. На указанные цели из средств государственного бюджета ежегодно выделяются капитальные вложения.

Вместе с этим следует отметить, что эффективность вложенных средств не всегда приводит к высокой эффективности водопользования и водопотребления в коммунальном секторе страны. Большинство населения Республики Узбекистан не имеют доступа к надежному и безопасному питьевому водоснабжению. Это обстоятельство, прежде всего, обусловлено отсутствием достаточного научного обеспечения реализуемых проектов по водоснабжению населенных пунктов страны.

1.2 Обзор работ, посвященные проблемам надежности и безопасности системы питьевого водоснабжения

Основное предназначение системы водоснабжения – это удовлетворение производственной и социальной потребности предприятий и населения.

Известно, что [14, 15, 16] надежность определяется, как «свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени».

Под «работоспособностью» понимается состояние изделия, при котором оно способно выполнять свои функции с установленными параметрами. Отказ есть «событие, заключающееся в нарушении работоспособности».

В применении к водопроводным системам, и, в частности, к водопроводным сетям, с «заданными функциями» является обеспечение потребителей водой в требуемых количествах и под требуемым напором, при нормальных условиях работы и снижение этих показателей не ниже установленных пределов при возможных авариях на сети. При этом может быть установлена также допустимая длительность периода снижения (или перерыва) подачи воды и частота их повторяемости.

Степень обеспечения этих свойств водопроводной сети обусловливается (как указано выше) факторами двух категорий:

1) вероятностью безотказной работы отдельных элементов сети (участков) и сочетаний этих элементов, возможной длительностью восстановления и вероятной частотой повторения отказов (интервалами между отказами);

2) степенью «стабильности» самой сети, т. е. степенью влияния на ее работу возможных случайных событий - аварий ее отдельных элементов.

Это свойство сети определяется в основном ее формой или способом соединения ее элементов и соотношением их проводимостей. Основным элементом сети является ее участок.

Таким образом, физический смысл надежности состоит в способности систем водоснабжения сохранять свои первоначальные технологические характеристики (расхода воды и напора) в процессе эксплуатации. В то же время, очевидно, что надежность водоснабжения зависит не только от продолжительности периода и условий эксплуатации, но и от того, какие функции выполняет система. В последнее время математическая теория надежности все шире используется для оценки работы и при проектировании различных инженерных систем, сооружений, машин.

Понятие надежности сложное и охватывает ряд признаков, характеризующих это свойство. В литературе приводится много общих определений надежности и ее основных признаков. Эти определения могут быть использованы для оценки различных инженерных систем лишь после конкретизации включаемых в них понятий.

Решение проблемы надежности системы питьевого водоснабжения, согласно поставленным требованиям, охватывает целый комплекс, вопросов. Исследованию комплекса вопросов: - организационные, технологические и экономические факторы, внешние воздействия, характеристики сети водопровода, которые играют определяющую роль в обеспечение надежности системы питьевого водоснабжения, посвящены работы. Анализ работ показывают, что к исследованиям особенностей обеспечения надежности работы системы питьевого водоснабжения столичных городов уделялись особое внимание. В частности, работы посвящены исследованию характеристик надежности трубопроводов Москвы, Ташкента, Душанбе, где установлены основные причины нарушения надежности питьевого водоснабжения населения, обусловленные низким качеством изготовления труб, нарушением технологии строительство и эксплуатации водоводов.

Исследованию состояния напорных трубопроводов г. Москвы, путем раскопов показали, что основные повреждения обусловлены физическими износами материала труб. Аналогичное положение выявлено и в других городах. Вместе с этим повреждение и разрушение труб системы питьевого водоснабжения происходит от сейсмических воздействий, изучение влияния землетрясения на надежность системы водоснабжения рассмотрены в работах [17,18]. Значения критерий надежности водоснабжения, выраженные через технологические характеристики (расхода воды и напора) в Республике Узбекистан установлены КМК 2.04.02.-97, они заключаются в следующем.

Расчетные расходы воды

1) При проектировании систем водоснабжения населенных пунктов удельное среднесуточное (за год) водопотребление на хозяйственно-питьевые нужды населения должно приниматься по табл. 1 и 2.

2) Расчетный (средний за год) суточный расход $Q_{сут.m}$, $м^3$/сут, на хозяйственно-питьевые и бытовые нужды в населенном пункте следует определять по формуле

$$Q_{сут.m}=(q_1+q_2)N/1000 \qquad (1.2.1)$$

где q_1 и q_2 – удельное водопотребление, принимаемое по табл. 1,2;
N – расчетное число жителей в районных жилой застройки с различной степенью благоустройства, значение которой принимаются из таблицы 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1 Удельное хозяйственно-питьевое водопотребление в населенных пунктах на 1 жителя

Степень благоустройства районов жилой застройки	**Удельное хозяйственно-питьевое водопотребление в населенных пунктах на 1 жителя среднесуточное (за год). л/сут, q_1**
Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией:	230-290
с централизованным горячим водоснабжением с ванными и	150-200
местными водонагревателями	95-120
с домовым водоразбором без канализации с уличным водоразбором	40-50

Таблица 1.2 Удельное водопотребление на коммунально-бытовые нужды в общественных зданиях на 1 жителя

Поселки города с населением, тыс. чел.	**Удельное водопотребление на коммунально-бытовые нужды в общественных зданиях на 1 жителя среднесуточное (за год) л/сут, q_2**
ПГТ и малые города (от 10 до 50)	40-50
Средние города (от 50 до 100)	50-55
Большие города (от 100 до 250)	55-60
Крупные города (от 250 до 500)	60-65
Крупнейшие города (свыше 500)	65-70

Свободные напоры.

1) Свободный минимальный напор в сети водопровода населенного пункта при максимальном хозяйственно-питьевом водопотреблении на вводе в здание над поверхностью земли должен приниматься при одноэтажной застройке не менее 10 м, при большей этажности на каждый этаж следует добавлять 4 м.

2) Свободный напор в наружной сети производственного водопровода должен приниматься по технологическим данным.

3) Свободный напор в наружной сети хозяйственно-питьевого водопровода у потребителей не должен превышать 60 м.

При напорных в сети более 60 м для отдельных зданий или районов следует предусматривать установку регуляторов давления или зонирование системы водоснабжения.

4) Противопожарный водопровод следует принимать низкого давления, противопожарный водопровод высокого давления допускается принимать только при соответствующем обосновании.

В водопроводе высокого давления стационарные пожарные насосы должны быть оборудованы устройствами, обеспечивающими пуск насосов не позднее чем через 5 минут после подачи сигнала о возникновении пожара.

5) Свободный напор в сети противопожарного водопровода низкого давления (на уровне поверхности земли) при пожаротушении должен быть не менее 10 м.

Свободный напор в сети противопожарного водопровода высокого давления должен обеспечивать высоту компактной струи не менее 10 м при полном расходе воды на пожаротушение и расположении пожарного ствола на уровне наивысшей точки самого высокого здания.

Максимальный свободный напор в сети объединенного водопровода не должен превышать 60 м. Тем не менее несмотря принимаемых мер по сохранению работоспособном состояние всех элементов системы водоснабжения городов и населенных пунктов, потребители не получают необходимого расхода и требуемого напора. При этом вся причина такого состояния обеспечения населения питьевой водой в нарушение проектного гидравлического режима элементов системы водоснабжения.

Таким образом, критерия надежности водоснабжения характеризуются через основные параметры потока воды, поэтому в настоящей монографии исследования этой проблемы осуществлены гидравлическими методами. Характерной особенностью гидравлического комплекса систем водоснабжения является неразрывность и гидравлическое единство всех элементов системы питьевого водоснабжения. Кроме того, работа всего комплекса неразрывно связана с характером и режимом водоотбора. Любые изменения водоотбора или изменения в системе транспортирующих воду (авария или выключение отдельных участков, увеличение гидравлических сопротивлений) влечет за собой перераспределение потоков воды в сети, изменение напоров и соответственно вызывает изменение величин Q и H водопотрибетелей. Поэтому одним из основных процессов функционирования системы водоснабжения является анализ совместной работы элементов гидравлического комплекса, эти аспекты систем питьевого водоснабжения изложены в работах [12, 13].

Непрерывные, в значительной степени хаотичные и неуправляемые изменения режима функционирования городских водопроводов создают исключительные трудности в обеспечение надежной работы водоподающих систем. Системы водоснабжения представляют собой комплекс элементов, включающий водоприемные сооружения, насосные станции, резервуары, очистные сооружения, водоводы и водопроводную сеть. Надежность функционирования указанных сооружений также являются одними из основных условий бесперебойности обеспечения водой промышленных предприятий и населенных пунктов.

В целом проблема надежности водоснабжения охватывает широкий круг вопросов, связанных с обеспечением и поддержанием требуемого уровня бесперебойности работы как отдельных видов оборудования, такие сооружений, входящих в состав систем водоснабжения. Решение ее включает два аспекта: количественное определение степени надежности и обеспечение заданного ее уровня. По мере развития систем водоснабжения городов, промышленных площадок проблема обеспечения их надежности находила свое качественное решение на уровне технических возможностей и знаний, которыми характеризовались различные этапы их развития. Особенностью современного этапа развития водоснабжения является необходимость наряду с качественным в количественном подходе к решению проблем обеспечения надежной подачи заданных расходов воды, при требуемом напоре и качестве. Количественное определение указанных свойств надежности систем водоснабжения стала возможна лишь в последнее время.

Изучение опыта эксплуатации водопроводов показала, что водопроводное оборудование и материалы, например насосы, трубы, задвижки, изготовленные на одном заводе, проявляют различную способность сохранять работоспособное состояние. В результате при их эксплуатации возникают повреждения, вызывающие отказ систем водоснабжения в самые неожиданные моменты

На 60 % эксплуатируемых трубопроводов наблюдается наиболее интенсивная коррозия, которая сопровождается резкой потерей пропускной способности трубопроводных систем и ухудшением качества транспортируемой по ним воды.

По современным представлениям, процесс коррозии обусловлен, прежде всего, коррозионной активностью воды, которая, как правило, усиливается при попадании во внутреннюю часть трубы инородных элементов. На процесс коррозии оказывает влияние большое число взаимосвязанных факторов, таких как химический состав и температура воды, содержащиеся в ней в различных концентрациях и соотношениях компоненты, ингибирующие и стимулирующие коррозию, марка металла труб, режим работы систем водоснабжения и др.

В наибольшей степени снижение пропускной способности действующих металлических трубопроводов имеет место в городах с открытыми источниками водоснабжения. Как правило, это крупные города с значительной протяженностью водоводов и водопроводных сетей.

Определенное представление о материальном ущербе, наносимом народному хозяйству внутренней коррозией, дают результаты отдельных обследований водопроводов, выполненных НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды НПО «Росводканал».
Данные, приведенные в табл.1.3, показывают, что для обеспечения расчетного расхода воды только по водоводам 11 городов необходимо увеличение затрат на электроэнергию в размере 1,1 млн. долл. США в год.

При прокладке дополнительных линий, рассчитанных на подачу недостающей за счет снижении пропускной способности трубопроводов воды, потребуются единовременные затраты в размере 9,2 млн.$ [17].

Таблица 1.3 Затраты требуемые для восстановления надежности городского водоснабжения

Город	Дополнительные затраты, тыс. долл. США						
	Диаметр, мм	Материал труб	Срок службы, год	Расчетный расход, л/с	Снижение пропускной способности	Прокладка дополнительного водовода	Увеличение мощности насосной станции в год
1	2	3	4	5	6	7	8
Волжский	600	Сталь	6	740	2,1	466,0	192,0
Самара	450	--	38	146	1,9	-	-
Самара	700	--	27	550	1,6	-	-
Самара	900	--	13	1060	1,6	220,0	100,0
Самара	900	--	4	1105	1,4	-	-
Самара	900	--	32	964	1,7	-	-
Альметьевск	1000	--	5	1200	1,4	3330,0	541,05
Гурьевск	300	--	-	170	1,4	1058,0	178,2
Челябинск	1000	--	4	1100	1,6	-	-
Челябинск	600	--	35	320	1,3	973,0	190,0
Челябинск	900	--	17	880	1,5	-	-
Омск	1000	--	2	1100	2,3	326,0	125,0
Мурманск	800	--	13	510	1,65	181,0	32,0
Мурманск	1000	--	3	1100	1,4	-	-
Харьков	1200	--	2,8	1600	1,34	263,1	31,0
Харьков	1000	--	2.5	1100	1.25	171.7	19.5
Харьков	1400	--	2	2060	1.34	288,0	29.0
Харьков	1600	--	2-3.5	3000	1.2	396	24.3
Харьков	900	Чугун	27	880	1.1	99,28	6,8
Уфа	600	Чугун	32	400	1,53	23,7	5,1
Уфа	500	Сталь	21	270	1.57	12.4	3,4
Уфа	800	Сталь	1	680	1,13	25.7	1.6
Ульяновск	600	Чугун	18	400	1.4	37,2	6.0
Ульяновск	600	Чугун	6	400	1.38	31.4	4.5
Пятигорск	100	Сталь	3	1100	1.5	1252.1	187.15

В табл. 1.4 приведены дополнительные данные о результатах обследования отдельных трубопроводов водоснабжения городов – стран СНГ, которые также подтверждают, что за 10-12 лет службы пропускная способность труб настолько снижается, что они становится практически непригодными для нормальной дальнейшей эксплуатации. В целом ряде случаев срок удовлетворительной работы стальных трубопроводов водоснабжения составляет 4-6 лет.

При таких условиях обеспечение подачи воды потребителям путем увеличения напоров на насосных станциях часто невозможно, поэтому возникает необходимость прокладки дополнительных параллельных линий, что связано с большими капитальными вложениями.

Таблица 1.4 Результаты отдельных обследований трубопроводов городского водоснабжения [17]

Город, регион	Диаметр мм	Материал труб	Срок службы, год	Коэффициент увеличения гидравлического сопротивления	Коэффициент уменьшения пропускной способности
1	2	3	4	5	6
Волжский	600	Сталь	6	4,25	2,03
Челябиск	1000	--	4	2,6	1,61
Самара.	450	Чугун	38	3,6	1,8
Самара	900	--	32	2,9	1,71
Самара	700	--	27	2.4	1,56
Самара	900	--	4	2,2	1,49
Донбасс	1067	--	3	2,69	1,64
Донбасс	700	--	5	3,02	1,73
Москва	400	Сталь	15	2,4	1,56
Москва	1200	--	9	1,1	1,31
Москва	1400	--	7	1,6	1.26
Анапа	700	--	6	3,1	1,92
Омск	1000	--	1	5,3	2,32
Владивосток	500	--	1	1.2	1,1
Пятигорск	100	--	2	1,75	1,32
Пятигорск	1000	--	13	5,2	2,08
Пятигорск	1000	Сталь	8	4,19	2,18
Донецк	500	--	18	3,12	1,93
Череповец	600	Чугун	14	1,15	1,08
Череповец	150	Сталь	16	1,3	1,15
Кострома	150	Чугун	58	2,0	1,41
Кострома	200	Сталь	20	1,5	1,23
Петрозаводск	300	--	18	1,0	1,0
Петрозаводск	800	--	12	2,1	1,64
Мурманск	1000	--	5	2,2	1,48
Киров	800	--	6	2,0	1,41
Уфа	600	--	13	2,6	1,61
Уфа	500	--	14	2,6	1,61
Орел	600	--	2	1,3	1,14
Душанбе	200	Чугун	3	2,2	1,48
Душанбе	400	--	10	1,4	1,18
Альметьевск	1000	Сталь	3	2,2	1,41
Альтемьевск	1000	--	4	2,6	1,61
Кишинев	600	--	2	2,0	1,41
Барнаул	300	--	8	2,0	1,41
Барнаул	500	Сталь	4	1,9	1,38
Томск	400	--	5	1,8	1.34
Кемерово	500	--	3	2,0	1,41
Благовещенск	250	--	4	2,0	1,41

Прокладка параллельных линий водоводов осуществлена в г. Ставрополе (диаметр 1200 мм, протяженность 23 км), на групповом водопроводе городов Кавказских Минеральных Вод (диаметр 1400 мм, протяженность 39 км), в г. Анапе (диаметр 1200 мм, протяженность 35 км). Для обеспечения нормальной подачи воды от Камской водоочистительной станции потребовалось (в период с 1979 по 1985 г.) заменить 60-70 км трубопроводов диаметром 700-1200 мм с выделением 5-6 млн. долл. США капитальных вложений в год. Вышеприведенный обзор данных показывающие, что причины, которые нарушение гидравлического функционирования систем водоподачи приводит также к коррозии материалов сети водоснабжения. Кроме материального ущерба внутренняя коррозия, препятствуя поддержанию качества воды в соответствии с требованиями «Вода питьевая», создает угрозу здоровья населения.

Безопасность водоснабжения в условиях Узбекистана — это обеспечение населения питьевой водой отвечающая требованиям «Вода питьевая: Гигиенические требования и контроль качества - РСТ 950:2000. Государственный стандарт Узбекистана, Ташкент, 2000 (таблица 1.5).

Таблица 1.5 Критерии безопасности питьевой воды, установленные Государственным стандартом Республики Узбекистана

№№	Наименование показателей	РСТ вода питьевая
Микробиологические показатели		
1	Общее число бактерий в 1 мл воды	100
2.	Коли-индекс (число БГКП в 1 л воды)	3
Токсикологические показатели		
1.	Алюминий мг/л	0,2
2.	Бор мг/л	0,5
3.	Кадмий мг/л	0,001
4	Молибден мг/л	0,07
5.	Мышьяк мг/л	0,01
6.	Натрий мг/л	200
7.	Никель мг/л	0,1
8.	Нитраты мг/л	45
9.	Нитриты мг/л	3
10.	Ртуть мг/л	0,0005
11	Саянец мг/л	0,01
12	Селен мг/л	0,01
13	Стронций мг/л	7,0
14	Фтор мг/л	0,7
15	Хром 6-валентный мг/л	0,05
16	Цианиды мг/л	0,1
17	Полиакраламид мг/л	2,0
18	Четыреххлористый углерод мкг/л	2,0
19.	Хлороформ мкг/л	200
20.	Бензол мкг/л	10
21.	Бензапарен мкг/л	0,01
Органолептические показатели		
1.	Привкус в баллах	2
2.	Запах в баллах	2
3.	Мутность мг/л	1,5-2,0
4.	Цветность в градусах	20-25
5.	Водородный показатель pH	6-9
6.	Сухой остаток мг/л	1000-1500
7.	Жесткость общая мг-экв/л	7-10
8	Марганец мг-экв/л	0,1-0,5
9.	Медь мг-экв/л	1,0
10.	Полифостраты мг-экв/л	3,5
11.	Сульфаты мг-экв/л	400-500
12.	Хлориды мг-экв/л	250-300
13.	Цинк мг-экв/л	3
14.	СПАВ мг-экв/л	0,5
15.	Нефтепродукты мг-экв/л	0,1
16.	Фенолы мг-экв/л	0,001
Показатели радиоактивного загрязнения		
1.	Суммарная альфарадиоактивность Бк/л	0,1
2.	Суммарная бетарадиоактивность Бк/л	1,0
Содержание обеззараживающих агентов		
1.	Хлор остаточный свободный мг/л	0,2-05
2.	Хлор остаточный связанный мг/л	Не менее 0,8
3.	Озон остаточный мг/л	0,1-0,3

Так называемое вторичное ухудшение качества воды в системах ее подачи и распределения является главным риском безопасности системы питьевого водоснабжения населения. Качество воды снижается, как правило, по показателям цветности, мутности, концентрации железа, повышению величины колииндекса, появлению запахов, привкусов. Особенно это относится к системам большой протяженности, имеющим много тупиковых участков, контррезервуаров, станций перекачки. В сетях городского водопровода наиболее характерными загрязнениями, осаждающимися на стенках труб, являются уплотненный осадок, окислы марганца и железа (в виде бугристых наростов), комплексные соединения на основе окислов железа и извести, инородные включения (кусочки древесины, мелкий щебень и т. д.). Наличие последних может свидетельствовать, прежде всего, о низком качестве очистки воды (в частности, удаления железа и марганца), а также попадании посторонних предметов в трубопроводы при их прокладке или ремонте запорно-регулирующей арматуры. В водоотводящих сетях осадок может быть представлен как минеральными (шлак, песок), так и органическими веществами.

Наиболее распространенной причиной ухудшения качества воды является вынос в питьевую воду продуктов коррозии и, в первую очередь, железа. По данным [17] что примерно в 40% городов Российской Федерации содержание железа в разводящей сети превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК), которая по ГОСТ 2874-82 составляет 0.3 мг/л.

Состояние безопасности питьевого водоснабжения оказывает влияние, также старение подземных трубопроводных коммуникаций различного назначения, которое приводит к потерям напора и снижению пропускной способности из-за зарастания труб. Эти обстоятельство приводят также к ухудшению физико-химических показателей транспортируемой питьевой воды (например, цветности) по причине коррозии; к повторному заражению вод (в результате свищей, трещин, нарушения стыковых соединений в случае старения сетей питьевого водоснабжения); к загрязнению подземных и поверхностных вод, почв, атмосферы (в случае старения нефтяных и газовых коммуникаций, водоотводящих сетей бытовой, дождевой и производственной канализации).

Утечки воды из трубопроводов, вызванные их старением, являются также причиной поднятия уровня грунтовых вод, что может привести к интенсивному разрушению эксплуатируемых зданий и действующих сооружений инженерной инфраструктуры. По данным исследований, проводимых в Канаде, местные повреждения в результате подвижек грунта проявляются примерно в течение 10 лет после монтажа трубопровода и составляют по суммарной протяженности до 6% его длины. В частности, по результатам натурных обследований сетей в г. Торонто протяженностью 25,6 км была выявлена необходимость в местном ремонте трубопроводов на участках суммарной длины порядка 1,4 км, что соответствует 55 м на 1 км длины трубопроводной сети, или 5,5%.

1.3 Анализ работ, посвященные исследованиям диффузионного перемешивания жидкости

Для оценки состояния питьевой воды в системах питьевого водоснабжения, а также прогноза изменения ее качества, возникает необходимость моделирования гидродинамических процессов, проявляющихся в системах водоподачи и водораспределения. При этом представляет наибольший интерес моделирование диффузионного перемешивания биологических субстанций в составе питьевой воды.

Диффузионные процессы имеют практическое приложение во многих областях науки и техники. В случае, когда в объеме жидкости или газа существует частицы другого вещества, тогда в процессе движения будет происходить перенос вещества. Это происходит при неоднородности плотностей, давлений или температуры в выбранной области жидкости и газа. Перенос вещества в жидкости или газа называются диффузией. Способностью диффузии обладают мельчайшие частицы среды, а также более крупные частицы среды.

Процесс диффузии в турбулентных потоках, а также в ламинарных потоках подчиняются механизму конвективной диффузии частиц среды.

Согласно основному закону Фика диффузионный поток *n* -ной компоненты смеси пропорционален градиенту концентрации этого компонента, взятом с обратным знаком. M_n масса ρ_n концентрация *n*-ой фазы смеси [6, 7]

$$i_n = -\varepsilon_s \frac{\partial \rho_n}{\partial x} \text{ или } i_n = -\varepsilon_s \Delta c_n \tag{1.3.1}$$

Выражение для установления количество массы переноса на единицу объема записываем, как:

$$M_n = -\varepsilon_s \frac{\partial \rho_n}{\partial x} \tag{1.3.2}$$

где i_n - интенсивность диффузионного потока;

ε_s - коэффициент турбулентной диффузии;

ρ_n - плотность массы;

Определение коэффициента диффузии. В случае идеальной диффузии формула Ричардсона-Колмогорова

$$\varepsilon_S = 10{,}1 R_0 u^* = 10{,}1 R_0 \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$$

где u^* - динамическая скорость смеси, $u^* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$.

Динамическая скорость определяется с учетом потери напора

$$u^* = \frac{\sqrt{\psi} V_0}{\mathrm{Re}^{1-\frac{\varphi}{2}}} \left(\frac{\psi}{R_0} \right)^{\gamma}$$

$$\varepsilon_s = 10{,}1 R_0 u^* = 10{,}1 R_0 \frac{\sqrt{\psi} V_0}{\mathrm{Re}^{1-\frac{\varphi}{2}}} \left(\frac{\psi}{R_0} \right)^{\gamma}$$

теперь переводя в безразмерные величины, имеем

$$\hat{\varepsilon}_s = \frac{\varepsilon_s}{R_0 V_0} = \frac{10{,}1\sqrt{\psi}}{R_e^{1-\frac{\phi}{2}}} \left(\frac{\psi}{R_0} \right)^{\gamma}$$

$\psi -$ постоянный Кармана, численное значение которой зависит от числа Рейнольдса. Постоянный Кармана изменяется при переходе от одних точек к другим в пределах живого сечения; φ - показатель степени для средней скорости, значение которой зависит ($1 \le \varphi \le 2$) от режима движения потока воды.

Для турбулентного φ =2, ламинарного режима движения

φ = 1. $\mu = Ce^{\frac{\eta}{RT}}$ - динамическая вязкость жидкости; *C* - *const*;

η - энергия необходимая для скачка молекулы (энергия активизации молекулы).

$\gamma = 0$ показатель степени у расчетной высоты выступов шероховатости.

Таким образом, имеем

Для гладких труб $$\hat{\varepsilon}_s = \frac{\sqrt{\psi}}{R_e^{1-\frac{\varphi}{2}}}$$

Рейнольдсом установлено, что при ламинарном режиме $\varphi = 1$ и $\psi = 8$

Для ламинарной области течения напорных гладких трубах $\hat{\varepsilon}_s = \sqrt{\frac{\psi}{\mathrm{Re}}}$

А для достаточно гладких труб $\varphi = 1{,}75$. При турбулентном режиме в гладких трубах имеет место зависимость Блазиуса $\varphi = 1{,}75$ и $\psi = 0{,}0395$

$$\overset{\circ}{\varepsilon}_S = \frac{0{,}19874}{\mathrm{Re}^{0{,}125}}\left(\frac{\psi}{R_0}\right)^{\gamma}$$

Для квадратичной области сопротивления и показателя степени в уравнение (2) при числе Рейнольдса $\mathrm{Re} \rangle 10^8, \varphi = 2, \gamma = 0$

При движении дисперсной смеси (например, воды и примеси) в трубе некотором выбранном объеме, если отсутствуют фазовое превращения, химические реакции то массовая доля каждой фазы смеси, отнесенной к единице объема, будет постоянными (хотя объем деформируется), так как в этот объем из вне примеси или вода не поступают и из нее не вытекают, тогда согласно [6,7] можно также написать

$$\vec{i}_n = -\rho_n \varepsilon_n grad c_n \qquad (1.3.3)$$

Массовая доля *n*-ной фазы смеси в выбранном части объеме определяются равенством

$$M_n = \int_{(W)} \rho_{ni} c_n d\tau \qquad (1.3.4)$$

где c_n, ρ_{ni} - объемная концентрация и масса n -ой фазы смеси.

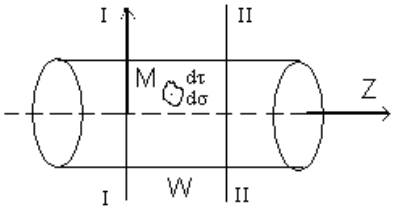


Рисунок 1.1. Схема для вывода уравнения диффузии

При наличии диффузионного потока справедливо равенство

$$\vec{i}_n = -\varepsilon_S grad c_n, \qquad (1.3.5)$$

тогда изменения массовой доли в выбранном объеме определяются равенством.

$$\frac{d}{dt}\left[\int_{(W)}\rho_{ni}c_n d\tau\right] = +\int_{(\sum)}\vec{i}_n d\tau + \int_{(\sum)}\vec{q}_n d\tau \qquad (1.3.6)$$

где $\vec{i}_n$ - интенсивность диффузионного потока;

$\vec{q}_n$ - интенсивность потока термодиффузии.

Полученное уравнение из формул Гаусса-Остроградского и дифференциал по времени от переменного объема $W(t)$ будем иметь уравнение диффузии в дифференциальной форме:

$$\int_{(W)}\left[\frac{\partial(\rho_{ni}c_n)}{\partial t} + div(\rho_{ni}c_n\vec{V}_n)\right]d\tau = \int_{(W)}\left[div\vec{i}_n + div\vec{q}_n\right]d\tau \qquad (1.3.7)$$

При непрерывности со своими производными функций $\rho_{ni}, c_n, \vec{V}_n, \vec{i}_n, \vec{q}_n$ в области W уравнению можно написать в дифференциальной форме:

$$\frac{\partial(\rho_{ni}c_n)}{\partial t} + div(\rho_{ni}c_n\vec{V}_n) = div\vec{i}_n + div\vec{q}_n \qquad (1.3.8)$$

где $\vec{V}_n$ - вектор скорости n-ой фазы смеси.

При отсутствии диффузионного и термодиффузионного переноса массы $\vec{i}_n = 0$, $\vec{q}_n = 0$ имеем

$$\frac{\partial(\rho_{ni}c_n)}{\partial t} + div(\rho_{ni}c_n\vec{V}_n) = J_{nk} \qquad (1.3.9)$$

J_{nk} - масса, отнесенная к единице объема при фазовом превращении *k*-той фазы к *n*-ой. Здесь уместно равенство $J_{nk} = -J_{kn}$

Если существует фазовое превращение, то уравнения (1.3.9) можно переписать в виде:

$$\int_{(W)}\left[\frac{\partial(\rho_{ni}c_n)}{\partial t} + div(\rho_{ni}c_n\vec{V}_n)\right]d\tau = \int_{(W)}\left[div\vec{i}_n + div\vec{q}_n + J_n\right]d\tau \qquad (1.3.10)$$

q_n - приток или отток потока массы в рассматриваемом объеме.

$$\frac{\partial(\rho_{ni}c_n)}{\partial t} + div(\rho_{ni}c_n\vec{V}_n) = div\vec{i}_n + div\vec{q}_n + J_n + q_n \qquad (1.3.11)$$

Если отсутствует термодиффузионный перенос массы и фазовый превращения уравнения диффузии примет вид:

$$\frac{\partial(\rho_{ni}c_n)}{\partial t} + div(\rho_{ni}c_n\vec{V}_n) = div\vec{i}_n + q_n \qquad (1.3.12)$$

В случае, когда масса перенос в потоке интенсивное, то происходит интенсивное изменения концентрации фаз частицы. При этом фаза смеси будет быстро перемещаться и поэтому в этом случае количество массового переноса будут большими, чем диффузионные и термодиффузионные переносы масс. Тогда уравнения сохранения массы (называемые уравнением неразрывности) записывается в виде:

$$\frac{\partial(\rho_{ni}c_n)}{\partial t} + div(\rho_{ni}c_n\vec{V}_n) = J_n + q_n \qquad (1.3.13)$$

Предполагая отсутствие химико-биологического переноса массы ($J_n = 0$) уравнение (1.3.13) напишется в виде:

$$\frac{\partial(\rho_{ni}c_n)}{\partial t} + div(\rho_{ni}c_n\vec{V}_n) = q_n \qquad (1.3.14)$$

В рассматриваемом уравнении неизвестными являются: c_n - концентрация биологической субстанции-бактерий, вектор скорости частиц - $\vec{V}_n$, истинная плотность фаз - ρ_{ni} . Для определения неизвестных параметров в (1.3.14) применяется модель взаимопроникающих и взаимодействующих многофазных смесей в модели Х.А. Рахматуллина [94]:

$$\rho_n \frac{d\vec{V}_n}{dt} = -f_n grad p + f_n \mu_n \Delta^2 \vec{V}_n + k(\vec{V}_p - \vec{V}_n) + \rho_n \vec{F}_n \qquad (1.3.15)$$

где $\rho_n = \rho_{ni}c_n$ - приведенная плотность *n*-ой фазы смеси.

На основе сжимаемости жидкости устанавливается зависимость давления от изменения концентрации:

$$P=P(c) \qquad (1.3.16)$$

В зависимости от цели исследования и объекта среды, т.е. дисперсной смеси рассматриваются различные модели.

Предположим, частицы фаз двигаются с постоянной скоростью $\vec{V}_n$ =*const,* каждая фаза смеси несжимаемы тогда, уравнении упрощаются.

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial c_n}{\partial t} + div(c_n\vec{V}_n) = q_n \qquad (1.3.17)$$

при $\vec{V}_n$ =*const,* $\dfrac{\partial c_n}{\partial t} = q_n$.

Предположим, что выравнивание концентрации происходить путем молекулярного переноса веществ в области водовода. Тогда происходит диффузионный процесс перемешивания и уравнение диффузионного перемешивания записывается:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + div\vec{j} + \sigma c = div\vec{i} \qquad (1.3.18)$$

где: $\vec{j} = cV_r\vec{e}_r + cV_0\vec{e}_0 - (cV_z + \varepsilon_S \frac{\partial c}{\partial z})\vec{e}_z$

$\vec{i} = c\vec{V}_{kp}\vec{e}_z$

Уравнение (1.3.18) является фундаментальным уравнением диффузионного движения смесей и описывает динамику изменения концентрации различных примесей в жидкости, когда параметры движения фаз смесей принимаются осредненными по живому сечению потока.

По утверждению [1, 7] перенос биологической субстанций (основа биологической субстанции составляют бактерии) в воздухе и в воде осуществляется движением потока

воды(воздуха) с учетом их мелкомасштабных флуктуаций. Осредненный поток биологической субстанций, переносимых массами воды (воздуха), как правило, имеет адвективную и конвективную составляющие, а осредненные флуктуационные их движение можно интерпретировать как диффузию на фоне основного осредненного движения, связанного с ним. Уравнение (1.3.18) может быть также обобщено, так если в процессе распространения часть биологической субстанции входит в реакции с внешней средой или распадается, то этот процесс интерпретируется как поглощение субстанции, тогда правая часть уравнения равняется нулю.

Вместе с этим диффузионная теория может также учитывать динамику изменения биологических процессов, при этом важное значение имеет величина или характеристика химико-биологического превращения конкретного типа бактерий. Результаты исследований по моделированию биологических процессов изложены в работах [1, 10, 11], в которых на основе особенностей отдельных бактерий даются математические модели процесса превращения конкретного класса бактерий в составе воды. Следует отметить, что согласно принятыми требованиями в Республике Узбекистан для оценки безопасности питьевого водоснабжения контролируется только обобщенное определение о бактериальном загрязнение воды- общее количество бактерий и коли-индекс, что практически исключает использование чисто биологических моделей для описания процесса движения бактерий в потоке воды. Поэтому для описания процессов, где характерными являются общее количество бактерий прибегают к гидравлическим моделям, где нет необходимости рассматривать дифференциации бактерий по их биологическим свойствам.

В гидравлических исследованиях наибольшее распространение получение движение смеси воды и взвешенных наносов, отдельные положения этих исследований также представляют интерес для рассмотрения движения смеси -воды и бактерий. Известны достаточно много исследований [12, 14], посвященные проблемам трансформации и перемешиванию взвешенных твердых частиц в воде в процессе ее движения. Использование основных положений приведенных работ позволяют вывода гидравлических уравнений для описания и управления процессами изменения осредненного значения концентрации бактерий по всему объему воды. Эти уравнения позволяют в достаточной степени описывать состояние безопасности централизованной системы питьевого водоснабжения городов.

1.4 Мероприятия по повышению надежности и безопасности водоснабжения, проводимые в водопроводящих и водоотводящих сетях городского водоснабжения

Характерной особенностью крупных и средних городов любого региона нашей страны является наличие разветвленных и весьма протяженных подземных трубопроводов, в частности, водопроводных и водоотводящих (канализационных) сетей различного диаметра и материала, которые неизбежно с течением времени подвергаются старению и риску аварийных ситуаций.

Повышение надежности работы подземных трубопроводов, предупреждение их старения и оперативная ликвидация последствий аварий на сетях являются одними из главных задач служб эксплуатации коммунальных объектов. Данный вопрос в настоящее время приобретает особую актуальность в республики, где в коммунальном секторе старение подземных трубопроводных коммуникаций и другого оборудования различного назначения достигли критических уровней.

Наиболее дорогим элементом комплекса водоснабжения любого большого города является система транспортирования питьевой и технической воды. Она включает водоводы, распределительную сеть и устанавливаемые на ней сооружения и арматуру для выключения, регулирования, обслуживания, ремонта и обеспечения надежной и безаварийной работы трубопроводов. Стоимость систем подачи и распределения воды составляет от 40 до 70% стоимости всей системы водоснабжения города. В связи с этим поддержание высокой работоспособности систем транспортирования воды (т. е. своевременное и эффективное

техническое обслуживание, ремонт и реконструкция трубопроводов и оборудования по причине их старения или преждевременного износа) остается для городских коммунальных служб приоритетным.

Подобные проблемы со своими специфическими проявлениями в части преждевременного старения, многочисленных патологий и связанных с ними аварийных ситуаций характерны и для водоотводящей сети.

Тенденции последних лет указывают на то, что коммунальными службами городов-мегаполисов различных стран все большее внимание уделяется вопросам использования перспективных бестраншейных технологий восстановления (санации) и прокладки водопроводных, водоотводящих и других инженерных сетей, что является альтернативой традиционному открытому способу реконструкции и строительству трубопроводов котлованным и траншейным способами.

Под бестраншейными технологиями понимаются технологии прокладки, замены, ремонта, инспекции и обнаружения дефектов в подземных коммуникациях различного назначения с минимальным вскрытием земной поверхности.

Бестраншейные технологии санации и прокладки трубопроводов, наряду с оперативностью и экономичностью по сравнению с традиционными методами (проведения земляных работ с раскопкой траншей, ремонтом или заменой трубопровода новым), позволяют сохранить исходное качество транспортируемых вод и не нарушить сложившуюся экологическую обстановку.

Первое широкое ознакомление инженерной общественности республики с многообразными зарубежными технологиями бестраншейного восстановления действующих трубопроводов различного назначения и их прокладки пришлось на конец 80-х и начало 90-х годов XX века.

Находящиеся в эксплуатации водопроводные и водоотводящие трубопроводы подвергаются как естественному старению, так и преждевременному износу, что требует их восстановления или санации [17].

Под санацией трубопроводов понимается полное восстановление трубопровода путем устранения всех видов дефектов по длине труб и в местах их стыковки путем нанесения защитных покрытий (облицовок) при соблюдении (поддержании) исходных гидравлических характеристик течения потока транспортируемой среды.

В свою очередь, под восстановлением структуры водопроводного трубопровода следует понимать ликвидацию:

структурных дефектов (например, свищей - сквозных отверстий, микротрещин и других повреждений, которые приводят к фильтрации и инфильтрации воды);

- функциональных дефектов, вызванных временными факторами (например, старением) и неудовлетворительной эксплуатацией системы водоснабжения и водопроводных сетей (например, появлением ржавчины на внутренних стенках труб, биообрастаний, бугристых наростов в виде уплотненных окислов железа, марганца и извести, инородных включений, проникающих в трубопроводы при любом вмешательстве извне: сварке, ремонте и замене запорно-регулирующей арматуры и т. д.);

- дефектов, вызванных некачественным монтажом труб при их укладке в траншее (например, деформацией труб) или являющихся результатом воздействия природных явлений (деформация грунтов, приток подземных вод и т. д.).

Главными причинами повреждений водопроводных трубопроводов являются: износ труб, низкое качество материала, избыточные напоры, наружная и внутренняя коррозия, резкие сезонные перепады температуры, образование воздушных карманов в повышенных местах и другие факторы.

Согласно международной классификации, поврежденные подземные трубопроводы подвергаются санации путем нанесения на их внутреннюю поверхность следующих типов защитных покрытий (облицовок):

- сплошных набрызговых (например, цементно-песчаных и других растворов); применяются в основном на стальных и чугунных трубопроводах различного диаметра;

- сплошных (например, протяжка полимерных гибких оболочек или пластиковых труб с сохранением или разрушением старого трубопровода); применяются на водопроводных, водоотводящих и газовых сетях малого и среднего диаметра;

- спиральных (например, навивка полимерных профильных лент на внутреннюю поверхность трубопроводов); применяются в основном для водоотводящих сетей;

- точечных (например, наложение временных и постоянных бандажей на внутренней поверхности трубопроводов).

Сплошные набрызговые покрытия на основе цементно-песчаных растворов [17].В литературных источниках 40-50-х годов XX века отмечалось, что эффективной мерой защиты внутренней поверхности от наростов ржавчины, биообрастаний и продления срока службы подземных металлических трубопроводов может служить напыление на их внутреннюю поверхность асбестоцемента. В последующие годы в качестве напыляемых ремонтных покрытий стали применять пластмассовую крошку. По тем временам данные мероприятия удовлетворяли установленным техническим требованиям к трубопроводам, так как позволяли увеличить продолжительность эксплуатации сетей и оттянуть сроки их ремонта. Однако надолго методы не прижились по причине первых удачных экспериментов по нанесению на внутреннюю поверхность трубопроводов цементно-песчаных покрытий.

Сплошные набрызговые покрытия из эпоксидной смолы и других веществ. В состав покрытий кроме органической смолы входят волокнистые добавки на основе стекла, которые защищают трубопровод от коррозии и абразивного износа, гарантируя водонепроницаемость стенок. Нанесение раствора осуществляется, как и в случае использования цементно-песчаного раствора, центрифугированем с помощью вращательных устройств со щетками. Метод нашел применение за рубежом в основном для санации водоотводящих сетей. Его особенностью является более тщательная предварительная подготовка (чистка) внутренней поверхности восстанавливаемых трубопроводов.

При напылении на внутреннюю поверхность стальных и чугунных трубопроводов покрытий на основе полиуретана, утверждаемого изоцианатом (например, по технологии фирмы CUES, США [17]), трубопроводы могут быть использованы в системах водоснабжения, так как рекомендуемые по технологии составы сертифицированы Сплошные покрытия в виде гибких полимерных рукавов или труб из различных материалов. Данный тип покрытий применяется как для водопроводных, так и водоотводящих труб.

Прежде чем остановиться на сущности методов сплошного покрытия полимерными материалами и последовательности сопровождающих их технологических операций, необходимо представить некоторые исторические сведения об использовании труб из пластических материалов для ремонтно-восстановительных работ, а также об уникальных свойствах пластиков.

Первый опыт использования труб из пластических материалов для восстановления (санации) трубопроводов относится к концу 60-х годов, когда в Северной Америке (г. Торонто, Канада) были восстановлены газовые, а затем и водоотводящие сети [17]. Для этой цели использовались полиэтиленовые (PE) и поливинилхлоридные (PVC) трубы, долговечность которых оценивалась соответственно в 35 и 20 лет европейских странах полимерные трубы для санации водоотводящих трубопроводов стали применять в начале 70-х, а водопроводных - в конце 70-х годов. При выборе конкретного материала для изготовления труб руководствовались техническими условиями и экологическими факторами.

Как известно, полиэтилен имеет уникальные свойства, которые позволяют использовать его при восстановлении трубопроводов. Одно из них заключается в том, что при монтаже плетей трубопроводов из отдельных звеньев труб возможно использование бесшовной сварки плавлением. При этом труба может быть соединена с другой полиэтиленовой арматурой, например клапанами, боковыми отводами, задвижками и т.д., обеспечивая полную герметизацию системы.

Спиральные полимерные оболочки**.** Данный тип защитных оболочек применяется для реабилитации безнапорных трубопроводов систем водоотведения. В зарубежной практике

широко применяются методы нанесения оболочек Ribloc и Expanda-Pipe [17]. Они позволяют облицовывать внутреннюю поверхность трубопроводов поливинилхлоридной (ПВХ) лентой. Для этого в колодце устанавливается специальный станок, осуществляющий несколько функций: нанесение (навивку) ленты по внутреннему диаметру трубопровода, е крепление, заливку клеящей смолы, проталкивание образовавшегося каркаса из ПВХ внутрь реабилитируемого трубопровода, расширение каркаса для его фиксации на восстанавливаемом сооружении.

Точечные (местные) защитные покрытия**.** Данный тип покрытий характерен для ликвидации одиночных (точечных) сквозных отверстий, в том числе периферийных трещин для трубопроводов диаметром 150 мм и более [17]. Данные патологии трубопроводов могут быть вызваны рядом обстоятельств:

- подвижкой грунта (например, при проведении вблизи трасс земляных работ, воздействием на трубопроводы сверхнормативных нагрузок от дорожного движения, размоканием грунта, землетрясений и т. д.);
- местной (очаговой) коррозией стенок трубопроводов как изнутри, так и снаружи.

Покрытия для точечного ремонта могут также использоваться в качестве герметичных соединений отдельных труб при реализации различных способов бестраншейного восстановления сетей.

Выводы по главе 1

1. Системы централизованного водоснабжения из-за износа оборудований и водопроводных сетей не обладают достаточной надежности, вместе с этим в связи с нарушением гидравлического режима функционирования водоводов, обусловленные с ними засорение и коррозия материалов труб возникает угроза нарушения безопасности питьевого водоснабжения населения.

2. Централизованная система питьевого водоснабжения населения представляет собой сложная разветвленная сеть гидравлически взаимосвязанных сооружений. Нарушение гидродинамического и связанное с ними бактериологического режима потока воды в системе водоснабжение имеет особенность распространения по всей системе опасных для здоровья людей бактерий различного характера.

4. Выявление причин и особенностей нарушения надежности систем питьевого водоснабжения имеет важное социально-экономическое значение, для устранения негативных последствий снижение работоспособности водопроводных сетей важное значение приобретает гидравлическое моделирование процессов, протекающих в водоводах.

5. Использование диффузионной теории позволяет создание гидравлических моделей для установления среднего по живому сечению значений концентрации бактерий и давления воды вдоль водовода. Балансовые уравнения движения смеси способствуют для оценки состояния питьевой воды в водоводе, а также разработки моделей регулирования характеристиками надежности и состоянием безопасности системы питьевого водоснабжения населенных пунктов.

ГЛАВА 2 ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ г.КАРШИ И КАШКАДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ

2.1. Особенности системы питьевого водоснабжения г. Карши административного центра Кашкадарьинской области

Город Карши - областной центр Кашкадарьинской области. Население города -более 280 тыс. человек, из них около 25% проживают в многоэтажных домах. В городе имеются более 500 многоэтажные дома, которые основной часть находятся в центре города. Промышленность сосредоточена в основном в северной за рекой Кашкадарья, западной и южной частях города.

В настоящее время в г. Карши существует система централизованного водоснабжения в проектной мощности 98,9 тыс. $м^3$/сут. Средние значения расхода воды по различным потребителям за 2015-2017 года приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 Средние значения расхода воды по различным потребителям за 2015-2017 года

№	Вид потребителей	Единица измерения	Количества
1	Всего	$м^3$/сут	98935
2	В том числе население	$м^3$/сут	36752
3	Промышленность и бюджетные организации	$м^3$/сут	19743
4	Прочие оптовые потребители	$м^3$/сут	11005
5	Потери	$м^3$/сут	31435

Охват населения централизованным водопроводам составляет 93%, удельное водопотребление на душу населения - 167 л/сут. Учет воды в г. Карши находится в неудовлетворительном состоянии. То есть недостаточный уровень обеспеченности приборами учета воды и измерительными приборами на водозаборах, узлах подкачек воды и сетях не позволяет. Во-первых, на водозаборах -установить фактическую подачу воды от каждой скважины и эффективность работы насосного оборудования, во-вторых, на напорных водоводах - своевременно выявить аварийные утечки и самовольные врезки. В третьих на сетях контролировать распределение воды в узловых точках и наличие утечек.

В связи с подачей воды в город по графику происходит нерациональное использование питьевой воды, особенно в летнее время, когда питьевая вода расходуется на полив. А также из-за многих факторов, то есть износ и старение основных средств, уменьшение эффективности электрической и технологической части системы, питьевая водоснабжения превратилась одной из самых актуальных проблем города. Еще одна из причин возникновения этих проблем отношение потребителей к использованию воды и отсутствие эффективного экономического механизма в системе. Наиболее дорогим элементом комплекса водоснабжения является система транспортирования питьевой и технической воды. Анализ существующих состояние подземных трубопроводов, в частности водопроводных сетей города Карши показывает, если 2018-2021 годам при непринятии экстренных мер по реконструкции коммуникаций две трети трубопроводов будет полностью разрушены, что может привести к параличу нормальной жизнедеятельности города. Старение подземных водопроводов приводит: к потерям напора и снижению пропускной способности из-за засорения труб, к ухудшению физико-химических показателей транспортируемой питьевой воды. По причине коррозии происходить заражения питьевой воды и загрязнению подземных и поверхностных вод, почв, атмосферы.

2.2 Становление системы водоснабжения г. Карши

Карши один из древнейших городов Узбекистана, начавший свое существование еще в эпоху Греко-Бактрийской цивилизации. Современный город возник в первой половине XIV века в центре оазиса на древнем караванном пути из Самарканда и Бухары в Афганистан, Индию и другие страны Востока. В это же время его стали называть Карши, а ранее он назывался Боло, Нашеболо, Нахшеб и Насаф.

Историк Махмуд Ибн Вали так характеризовал город: «Нахшеб (Карши)- с хорошим климатом и весьма прекрасными просторами. Хотя он небольшой, но построен со вкусом и планомерно. Много в нем садов и пашен. Вода течёт по реке со стороны Кеша (Шахрисабза) и Самарканда. Посевы его дают хороший урожай. Следует отметить, что с 1955 года вода вновь стала поступать из реки Зеравшан по восстановленному руслу канала Эскиангар в Кашкадарьинскую область. Через р. Кашкадарья был построен деревянный акведук из двух ниток с общей пропускной способностью 4 $м^3$/с. С целью улучшения водообеспеченности орошаемых земель левобережных хозяйств юго-восточной Даштскойзоны Каршинского района вода из акведука перебрасывалась в концевую часть канала Файзабад (выше вододелителя Бешдарак*)* по каналу Каршинская ветка длиной 10,7 км.

Население и другие потребители Карши и прочих населенных пунктов области до недавнего времени потребляли воду из арыков, хаузов и колодцев. В древний период вся территория Карши была обводнена Бешкентарыком и Кучкакарыком и их водотоками. На территории города до недавнего времени сохранялись такие уникальные сооружения водоснабжения, как сардоба в махалле Дарвозатутак и Ташхауз в Чармгаре. Выполненный из камней Ташхауз имел приблизительные размеры 15х15 м. Вода подавалась по арыку Тазар, забирающему воду из Бешкентарыка (по направлению водяной мельницы - ун тегирмони). В него также поступала вода из Ташхауза (рис.2.1) был предусмотрен отток в Бешкентарык. Отстроенную воду из этого хауза потребляли жители махаллей Чармгар и Бузрукобод.

Строжайшее соблюдение населением требований охраны водных ресурсов от различных загрязнений обеспечивало в прошлом высокое качество воды во всех источниках водоснабжения. Например, подрусловая вода и вода в самой Кашкадарьи была пресная, общая минерализация ее до 50-60-х годов была ниже 1 г/л, об этом свидетельствуют результаты многолетних анализов.

Рисунок 2.1 Тошховуз для водоснабжения населения г. Карши

В 1935 году впервые Кашкадарьинской области был построен водопровод в Бекбуды (в начале XX веке Карши стали называть Бекбуды). Источником водоснабжения служила подрусловая вода Кашкадарьи. Ее забор осуществлялся с помощью шахтного колодца и насосной станции первого подъема, оборудованном насосом КСМ-50 на дизельном двигателе. Шахтный водозабор представлял собой прямоугольный колодец глубиной 12 м и шириной 3 м.

Для подачи воды был проложен трубопровод из стали диаметром 150 мм. Он проходил по центральной улице города. Населению воду отпускали в специально построенных будках, расположенных в пяти точках города, все они были оборудованы водоразборными колонками. В связи с вводом в эксплуатацию 1950 году первой электростанции в городе Карши дизельные двигатели насосов шахтных водозаборов были заменены электрическими. Такая примитивная схема водоснабжения просуществовала до 1953 года. В 1946 году была разработана схема водоснабжения и создан проект водопровода мощностью 400 $м^3$/час двумя резервуарами чистой воды вместимостью 600 $м^3$/час каждый, насосной станцией II подъема и двумя водоводами диаметрами 400 мм из чугуна и стали. В 1960-1964 годах были дополнительно построены еще пять скважин, расположенных на левом и правом берегах Кашкадарьи. В 1970 году их количество было доведено до 17, при этом производительность водозаборных сооружении составляла 17000 $м^3$/сут.

В 1970 году была начата разработка генплана города Карши с населением 250,0 тыс. человек и проекта водоснабжения с кольцевыми разводящими сетями и насосными станциями подкачки. Однако после строительства в 1965 году Каршинского гидроузла на Кашкадарья возле ресторана «Чаман» резко ухудшилось качество подрусловых вод в зонах действия водозаборных сооружении. Жесткость воды достигала 18-20 мг-экв/л. В связи с ухудшением химического состава воды в зонах врачи санитарно эпидемиологической станции города Карши категорический запретили использовать ее для хозяйственно-питьевых нужд населения.

2.3 Источники питьевого водоснабжения г. Карши и Кашкадарьинской области

Бурное развитие системы водоснабжения города Карши получила в связи со строительством Мубарекского газоперерабатывающего завода. В настоящее время водоснабжение г. Карши и прилагающих населенных пунктов, г. Мубарека и нефтегазовых предприятий полностью базируется на использовании воды подземных источников, расположенных в пределах Китабо-Шахрисабзского месторождения на базе которого создана региональная система водоснабжения с забором воды из водозаборных узлов ВУ-1, ВУ-2, ВУ-3, ВУ-4. Водозаборные сооружения ВУ-1, ВУ-2, ВУ-3, ВУ-4 состоит из 107 эксплуатационных скважин, в которых для подъема воды из подземных источников установлены электрические центробежные насосы с различными характеристиками. Расходование подземных вод в аллювиально-пролювиальных верхне-среднечетвертичных отложениях Китабо-Шахрисабзского месторождения.

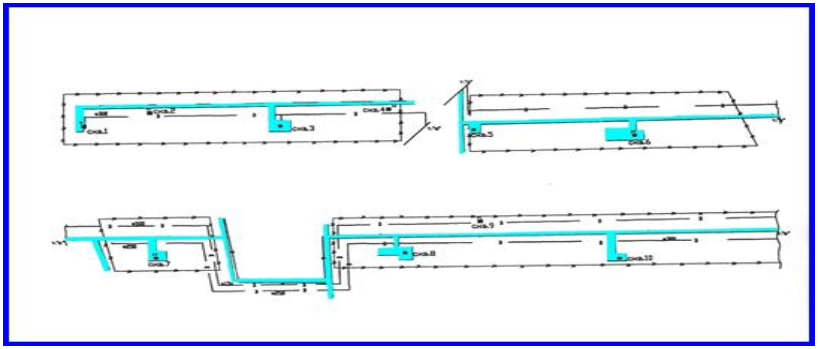


Рисунок 2.2 Водозаборный узел-1

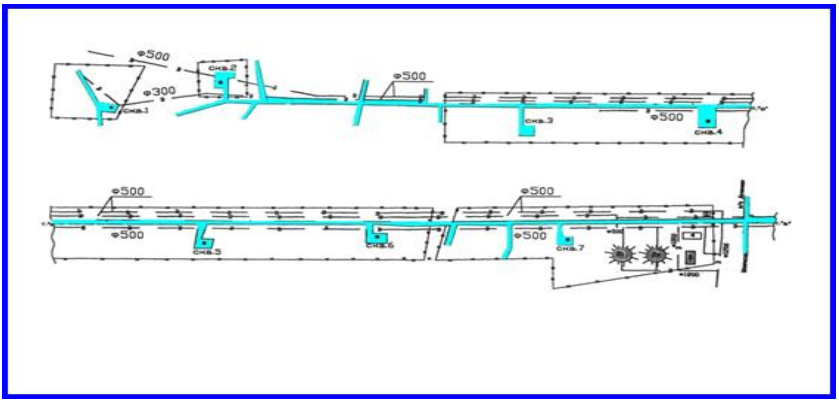


Рисунок 2.3 Водозаборный узел 2

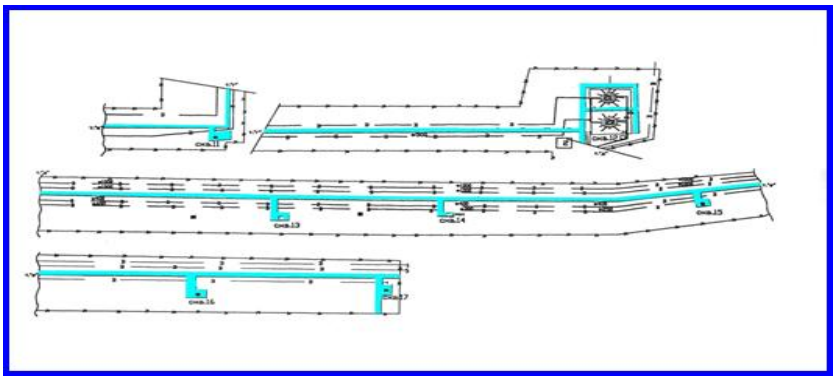


Рисунок 2.4 Водозаборный узел 3

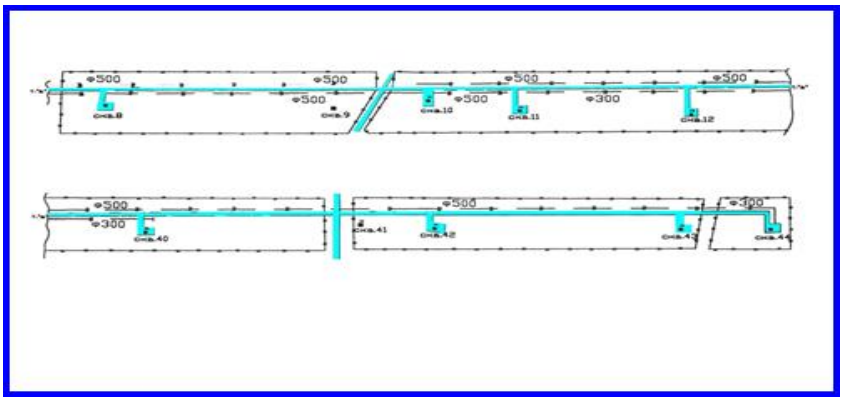


Рисунок 2.5 Водозаборный узел 4

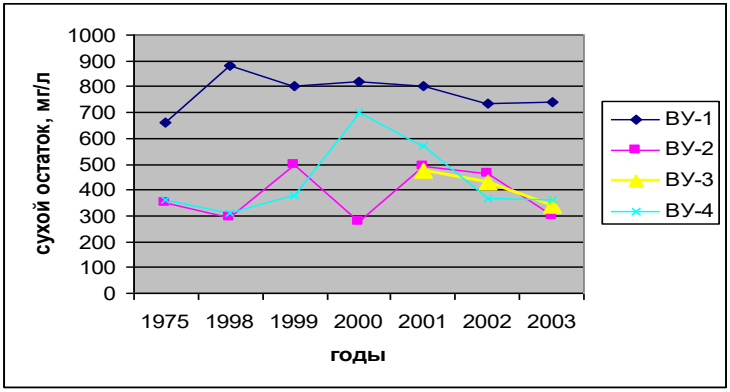


Рисунок 2.6 Изменение величины сухого остатка в составе воды

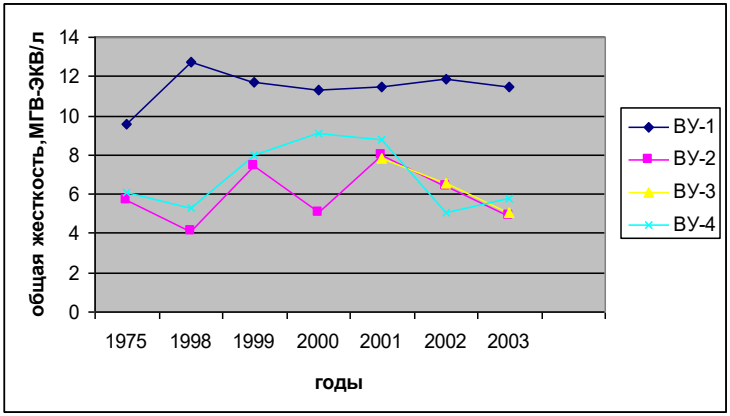


Рисунок 2.7 Изменение общей жесткости воды

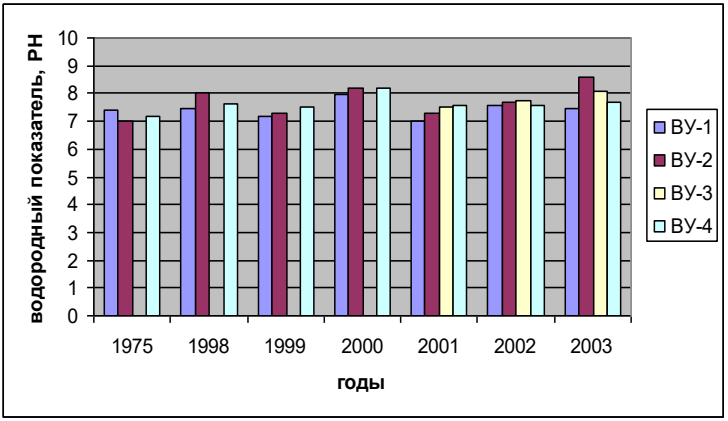


Рисунок 2.8 Изменение водородного показателя воды

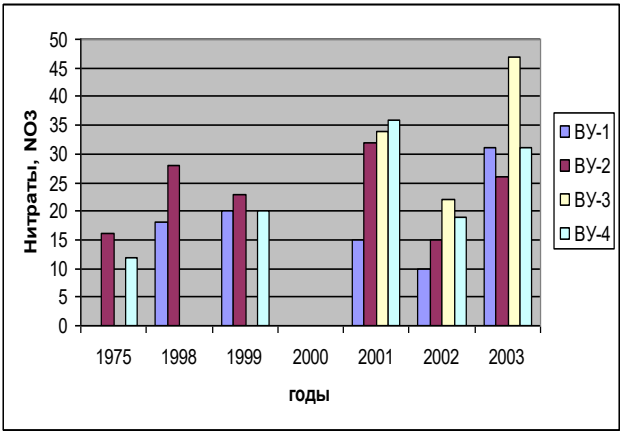


Рисунок 2.9 Изменение содержание нитратов в воде

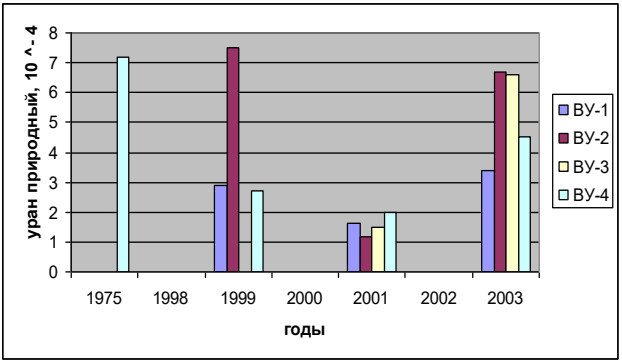


Рисунок 2.10 Изменение содержание природного урана в воде

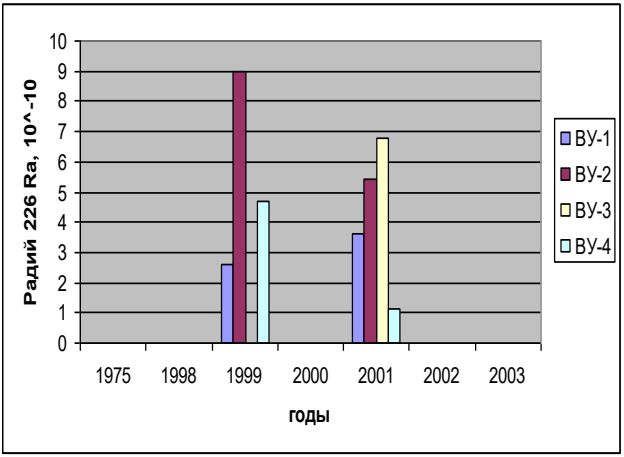


Рисунок 2.11 Изменение содержание Радий 226 в воде

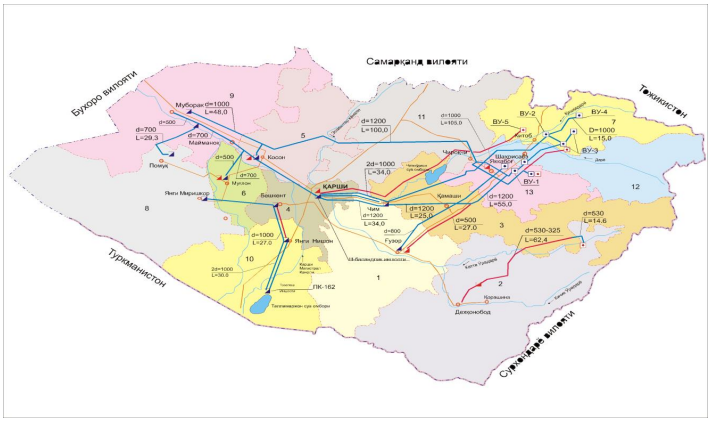


Рисунок 2.12 Схема функционирования система транспортировки питьевой воды по районам Кашкадарьинской области

Происходит путем дренирования в русловые отложения притоков р. Кашкадарьи и в её русло, отбора водозаборными сооружениями и на подземный отток за пределы месторождения. За время эксплуатации подземных источников пресных вод подвержены количественному и качественному изменению. Изменение общей минерализации воды в подземных источниках показаны на рис. 2.6-2.11. На рис. 2.12-синий линией обозначены существующие водоводы, красной линией обозначены строящихся линии.

От водозаборов ВУ-1, ВУ-2, ВУ-3, ВУ-4 вода двум водоводам из стальных труб диаметром 1200 мм, 1020 мм общей протяженностью 243,2 км подается в резервуары на площадки насосной станции Ш-подъема в г. Карши.

Затем насосной станцией Ш-подъема подается в город Карши и гг. Касан, Мубарек, сельскому населению. От магистральных водоводов вода подаётся на узлы подкачки, на которых расположены резервуары для воды и насосные станции подкачек. От узлов вода подаётся в распределительную сеть. Остальная вода в количестве 30,0 тыс. м^3/сут. насосной станцией Ш-подъема транспортируется в гг. Касан, Бахористан, МГПЗ и сельскому населению. Протяженность магистральных сетей и водоводов составляют более 380 км.

2.4 Закономерности формирования качества воды реки Кашкадарья и Талимарджанского водохранилища

Река Кашкадарья относится к бассейну Амударьи, но до неё свои воды не доносит и поэтому может рассматриваться как самостоятельная река. Относится к рекам, формирующие сток в западной части бассейна, где хребты отличаются меньшими высотами, снегово-ледникового и частично снегового питания.

Кашкадарья имеет длину 378 км., площадь водосбора 8,8 тыс. км^2. В истоке-Шиньгасой, в низовьях-Майманакдарья. Берет начало в западных отрогах Зеравшанского и Гиссарского хребтов. От селения Дуаб течёт в широкой долине и принимает слева ряд протоков многие из которых по водоносности больше Кашкадарьи. Основные притоки: Аксу, Танхаздарья, Яккабагдарья и Гузардарья. Питание снегово-дождевое. Половодье весной; летом река маловодна. Средний расход по выходе из гор (266 км от устья) 24,9 м^3/сек. Воды Кашкадарьи широко используются для орошения, и за Каршинским оазисом русло постепенно теряется. Кашкадарья подпитывается посредством канала Эскианхор водами Зеравшана. На Кашкадарье Чимкурганское и на Гузардарье Пачкамарское водохранилища.

Река Кашкадарья ниже по течению принимает хозяйственно-бытовые сточные воды населенных мест, неорганизованные выпуски с территории населенных мест, животноводческих комплексов, коллекторно-дренажные воды.

Для установления закономерностей формирования качества воды реки Кашкадарья в зависимости от гидрологических и природно-климатических условий, влияния антропогенных источников загрязнения нами было выбрано 3 опорных створов наблюдения, приуроченных к местам использования реки для хозяйственно-питьевого водопользования населения, из которых отбирали воду для лабораторных анализов по химическим и бактериологическим показателям.

Створ №1 расположен в верхнем течении (исток) реки Кашкадарья (фоновый створ). На этом участке водоток используется для нецентрализованного водоснабжения и рекреации посёлка Варганзи.

Створ №2 установлен в среднем течении реки Кашкадарья. На этом участке река используется для нецентрализованного водоснабжения и культурно-бытовых нужд населения ряда городских и сельских населенных пунктов Кашкадарьинской области.

Створ №3 расположен на участке реки в устье реки Кашкадарья (посёлок Чимкурган). Выбран для установления качества речной воды в нижнем течении по мере продвижения воды.

Необходимо отметить, что основными источниками загрязнения реки Кашкадарья по ходу её течения от истока до устья являются коллекторно-дренажные (сельскохозяйственные) и хозяйственно-бытовые сточные воды населенных пунктов. Производственные сточные воды, содержащие специфические химические ингредиенты, связанные с технологическим процессом производства отсутствуют. Вместе с тем имеет место неорганизованное загрязнение реки нефтепродуктами от мойки транспортных средств.

Закономерности формирования качества воды реки Кашкадарья по створам наблюдения представлены в таблице 1, (рис. 1, 2, 3). Цветность воды соответствует требованиям ГОСТа во всех изученных створах. В нижнем течении реки этот показатель возрастает до 44,6-47,8 градусов, однако не выходит за пределы гигиенических требований (норма 50 градусов).

Запах воды в створе №1 и №2 реки Кашкадарья оставался на уровне нормативных значений. Вместе с тем в створе №3 запах воды незначительно (2,5 балла) превышает гигиенические требования. Дефицит растворенного в воде кислорода по величинам БПК возрастает ниже по течению реки, достигая максимального уровня в створе №3. В этом створе реки показатели БПК составляют 4,4-4,6 мгO_2/л. Аналогичная динамика изменения органолептических показателей качества воды реки установлена по содержанию в воде сульфатов и хлоридов. Эти показатели во всех створах наблюдения были в пределах нормативных значений. Однако в нижнем течении, по сравнению с истоком, их концентрации в 2-3 раза повышаются, что свидетельствует об увеличении антропогенной нагрузки (хозяйственно-бытовые и коллекторно-дренажные сточные воды) на водоём по мере продвижения воды.

Показатели pH в воде реки соответствовали предъявляемым требованиям и находились в пределах 7,4-7,9 в истоке и 7,2-7,7 в устье реки соответственно. Аналогичные результаты получены по показателю мутности в воде реки.

На протяжении всей реки показатели общей минерализации реки не выходили за пределы гигиенических требований. Вместе с тем в верхнем течении реки Кашкадарья минерализация воды составляла 630-690 мг/л. В среднем течении их концентрации возросли до 710-760, а в нижнем течении до 950-1110 мг/л (ПДК 1500 мг/л).

Аналогичная закономерность формирования качества речной воды установлена по показателю общей жесткости. В верхнем течении реки (створ №1) общая жесткость воды не превышает нормативный уровень (до 7 мг-экв/л) и составляет 5,2-5,4 мг-экв/л. В среднем течении (створ №2) этот показатель был на уровне 6,4-6,7 мг-экв/л, а в нижнем течении (створе №3) соответственно 7,6-7,8 мг-экв/л.

Максимальные концентрации нефтепродуктов в створе №1 реки Кашкадарья отмечались на уровне 0,03 - 0,06 мг/л (ниже уровне ПДК). В створе №2 концентрации нефтепродуктов незначительно возрастают до 0,05-0,09 мг/л, а в створе №3 нефтепродукты обнаруживаются уже на уровне 0,14-0,18 мг/л (пдк 0,25 мг/л).

Во всех установленных створах реки Кашкадарьи по сезонам года ионы общего железа и молибдена не обнаружены. Такое положение обусловлено тем, что от истока до устья реки источники загрязнения реки тяжелыми металлами отсутствуют. Вместе с этим концентрации фтора в воде во всех створах наблюдения были ниже установленных нормативных значений и составляли от 0,4 до 0,7 мг/л при норме 0,7 мг/л. Это обусловлено

природными свойствами водных ресурсов, расположенных в Кашкадарьинской области. Даже в подземных водах фтор содержится концентрациях 0,2-0,5 мг/л (по данным исследований 2012 года и данным Госгидромета).

Наиболее интенсивное загрязнение воды происходит в нижнем течении реки (створ №3). На этом участке реки Кашкадарья количество поступающих загрязнений значительно увеличивается и, в связи с этим интенсивность процессов самоочищения воды замедлены.

Качество воды реки Кашкадарья подвержено значительным колебаниям и характеризуется высоким микробным числом и наличием бактерий группы кишечных палочек, наиболее высокие показатели которых установлены в створе №3 - в нижнем течении реки.

Таблица 2.2 Динамика показателей качества воды реки Кашкадарья

Показатели, мг/дм^3	Сезоны года	Створ №1	Створ № 2	Створ № 3
		Средние значения	Средние значения	Средние значения
Цветность, градусы	зима	19,8	36,6	47,8
	весна	21,1	38,8	44,6
	лето	23,6	41,1	46,7
Запах, баллы	зима	1,0	1,5	2,5
	весна	1,0	1,5	2,5
	лето	1,0	1,5	2,5
$БПК_5$, мгO_2/л	зима	2,6	3,9	4,4
	весна	2,6	3,7	4,6
	лето	2,7	3,2	4,5
Фтор	зима	0,5	0,4	0,7
	весна	0,6	0,5	0,6
	лето	0,4	0,6	0,5
Нефтепродукты	зима	0,03	0,05	0,14
	весна	0,04	0,08	0,17
	лето	0,06	0,09	0,18
Железо	зима	н/о	н/о	н/о
	весна	н/о	н/о	н/о
	лето	н/о	н/о	н/о
Молибден	зима	н/о	н/о	н/о
	весна	н/о	н/о	н/о
	лето	н/о	н/о	н/о
pH	зима	7,9	7,4	7,2
	весна	7,4	7,3	7,5
	лето	7,6	7,5	7,7
Мутность	зима	58,9	59,6	59,7
	весна	54,4	55,9	52,4
	лето	55,9	52,8	51,4
Сульфаты	зима	223,9	263,9	298,7
	весна	243,8	268,8	212,7
	лето	232,6	274,5	209,8
Хлориды	зима	98,8	114,4	137,7
	весна	96,5	118,9	145,9
	лето	97,3	141,3	165,8
Общая минерализация (сухой остаток)	зима	630	710	950
	весна	690	750	960
	лето	680	760	1110
Жесткость общая, мг-экв/л	зима	5,4	6,7	7,6
	весна	5,1	6,5	7,5
	лето	5,2	6,4	7,8
ОМЧ, кл/мл	зима	$0,7x10^3$	$1,1x10^4$	$1,4x10^5$
	весна	$0,8x10^3$	$1,2x10^4$	$1,5x10^5$
	лето	$0,9x10^3$	1,3x104	$1,5x10^5$
БГКП, lg КОЕ/л	зима	0,2	2,3	3,2
	весна	0,3	2,4	3,4
	лето	0,3	2,9	3,9
E. Coli, lg КОЕ/л	зима	н/о	1,3	2,3
	весна	н/о	1,4	2,6
	лето	н/о	1,6	2,9

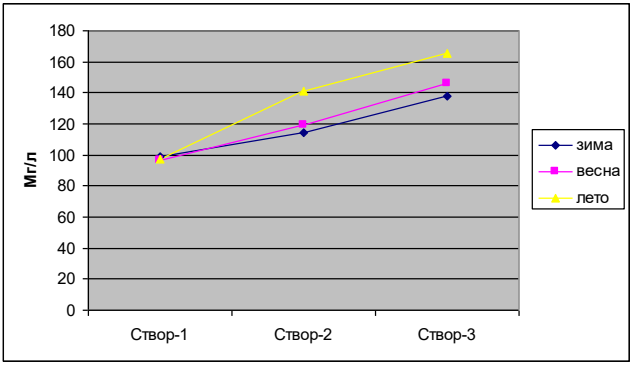


Рисунок 2.13 Сезонная динамика хлоридов в воде Кашкадарьи

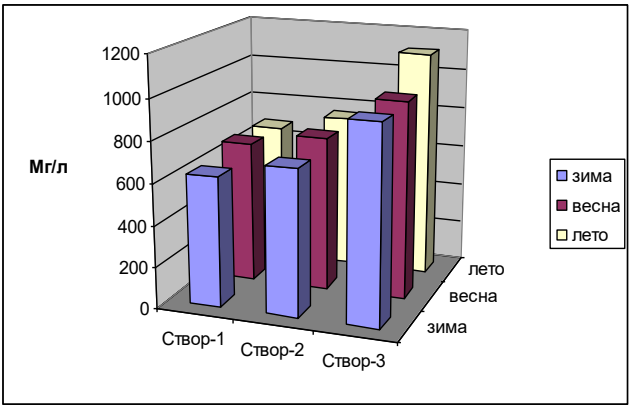


Рисунок 2.14 Сезонная динамика общей минерализации Кашкадарьи

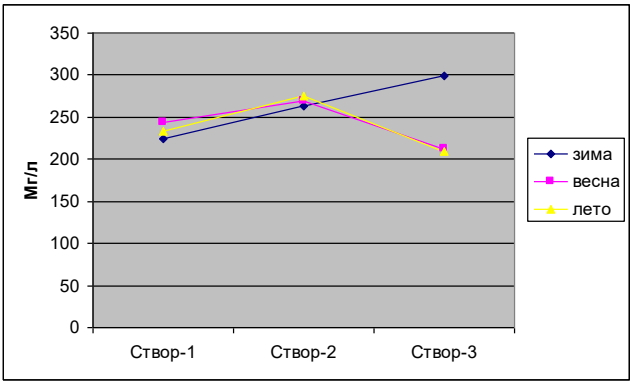


Рисунок 2.15 Летняя динамика сульфатов в воде Кашкадарьи

Индекс лакто из-за положительных кишечных палочек (БГКП) в воде в 2,3-2,9 и 3,2-3,9 раз превышает установленный норматив для источников водоснабжения в створах №2 и №3 наблюдения соответственно.

Количество кишечных палочек (E.Coli) в воде реки Кашкадарья имеет значительные колебания с минимальными значениями их в створах реки в верхнем течении не принимающих хозяйственно-бытовые сточные воды. При этом установлено, что по мере продвижения воды микробное загрязнение воды по количеству кишечных палочек увеличивается. Так если в створе №1 кишечные палочки не обнаруживаются, то в среднем течении (створ №2) их количество составляет уже 1300-1600 м.т. в 1 литре воды, а в нижнем течении (створ №3) 2300-2900 м.т./л при норме 1000 м.т./л. воды. При этом необходимо учесть, что наличие воде кишечной палочки в воде свидетельствует о старом фекальном загрязнении водного объекта. Наиболее высокие показатели бактериального загрязнения воды установлены в летний период времени, когда температура воды значительно повышается и создаются оптимальные условия для жизнеспособности микроорганизмов кишечной группы. При этом по мере продвижения воды антропогенная нагрузка на водоём возрастает.

В 2012 году нами были выполнены исследования по отбору проб воды и исследованию качества воды Талимарджанского водохранилища. Но для более объективной оценки качества воды водохранилища необходимы многолетние исследования динамики изменения показателей водоёма. Поэтому в 2013 году согласно плану работ были проведены дальнейшие исследования Талимарджанского водохранилища.

Талимарджанское водохранилище является одним из источников централизованного хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения Кашкадарьинской области. Ёмкость водохранилища 1400 млн.м^3, в котором осуществляется сезонное регулирование стока. Площадь зеркала 100 км^2, максимальная глубина 30 м.

Заполняется водой из Амударьи посредством насосной станции НС-7. Лето вода, подаваемая каскадом насосных станций, проходит по обводному каналу в обход водохранилища и поступает непосредственно в рабочую часть КМК.

Объем воды в водохранилище составляет 1,5 млрд.м^3. Имеет две плотины верхняя длиной 9,6 км. Нижняя – 1 км. Посредством отводящего канала вода накапливается в горизонтальном отстойнике объёмом 1,5 тыс.м^3 воды. Водоподготовка осуществляется в двух резервуарах объёмом 10 000 м^3 каждый. После отстаивания вода насосной станцией подаётся в распределительную сеть потребителям. Специальные методы водоподготовки - коагуляция, флотация не предусмотрены, однако предусмотрена хлораторная.

С целью исследования формирования качества воды Талимарджанского водохранилища и питьевой воды проведен экспедиционный выезд в Кашкадарьинскую область. Проведены натурные исследования состояния Талимарджанского водохранилища и системы централизованного водоснабжения ряда районов Кашкадарьинской области. Отобрано 10 проб воды для анализов качества воды по органолептическим, химическим и бактериологическим показателям:

1 проба - плотина №1
2 проба - плотина №2
3 проба - верхний бьеф.
4 проба - нижний бьеф.
5 проба - акватория.
6 проба - водохранилище
7 проба - отводящий канал.
8 проба - горизонтальный отстойник, выход
9 проба - водоподготовка, вход.
10 проба - распределительная сеть.

Результаты исследований предоставлены в таблицах 2, 3 и 4. Из таблицы 2 следует, что вода Талимарджанского водохранилища по химическим показателям соответствует требованиям ГОСТа 951:2011. «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиеническое, техническое требования и правила выбора» (Ташкент, 2011). Вместе с тем концентрации фтора составляют 0,32-0,35 мг/л при норме 0,7 мг/л.

Во всех исследованных пробах воды коли-индекс незначительно превышает нормативный уровень. В воде водохранилища коли-индекс составляет 1300-1600 в литре воды (норма 1000), в отводящем канале - 1200, в горизонтальном отстойнике и перед

водоподготовкой (два горизонтальных отстойника объёмом 10.000 м^3) - 1100, а в распределительной водопроводной сети составляет 3 (норма 3).

По сравнению с данными 2012 года качество воды по химическим и органолептическим показателям не изменилось и соответствуют экологическим требованиям.

Однако, в 2013 году по сравнению с 2012 годом бактериологические показатели качества воды Талимарджанского водохранилища (1-9 пробы) на 10-20 % улучшились, а коли-индекс в распределительных сетях (10 проба) снизился в 7-8 раз и соответствует требованиям ГОСТа 950:2011 «Вода питьевая». Это можно объяснить тем, что в предыдущие годы хлорирование воды перед подачей в распределительные сети не проводилось из-за отсутствия хлораторной. В 2013 году хлораторная построена и успешно эксплуатируется.

Таблица 2.3 Органолептические показатели качества питьевой воды Талимарджанского водохранилища

№п/п	Наименование районов	Привкус, баллы	Запах, баллы	Мутность, мг/л	pH
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
1.	Плотина №1	3	3	2,8	7,5
2.	Плотина №2	2	1,6	2,3	7,7
3.	Верхний бъеф	3	4	2,6	7,8
4.	Нижний бъеф	3	3	2,6	7,6
5.	Акватория	2	1	1,6	7,1
6.	Выход из водохранилища	1	1	1,5	7,0
7.	Отводящий канал	1	1	1,6	7,0
8.	Горизонтальный отстойник. Выход	2	1,5	2,5	7,9
9.	Водоподготовка, вход	2	2	2,8	8,2
10.	Распределительная сеть	2	2	2,7	8,4

Таблица 2.4 Качество воды Талимарджанского водохранилища по химическим показателям

№ п/п	Показатели, мг/дм^3	Место отбора проб воды		
		Водохранилище	Отводящий канал	Распределительная сеть
1.	Алюминий	0,011	0,010	0,013
2.	Бериллий	0,00002	0,0002	0,00003
3.	Молибден	0,0026	0,0029	0,0037
4.	Мышьяк	0,0029	0,0034	0,0047
5.	Никель	0,0014	0,0019	0,0011
6.	Нитраты	1,30	1,36	0,43
7.	Нитриты	0,004	0,008	0,003
8.	Свинец	0,0009	0,0008	0,0004
9.	Селен	0,0019	0,0018	0,0011
10.	Стронций	1,8	1,7	1,3
11.	Фтор	0,35	0,34	0,32
12.	Бериллий	0,00002	0,00002	0,00001
13.	pH	7,50	7,60	7,40
14.	Общая минерализация	388	397	326
15.	Железо	0,02	0,02	0,03
16.	Жесткость общая, мг-экв/л	2,70	2,60	2,70
17.	Марганец	0,0059	0,0056	0,0053
18.	Медь	0,0019	0,0018	0,0023
19.	Сульфаты	317,0	302,0	327,0
20.	Хлориды	178,0	179,0	177,0
21.	Цинк	0,0026	0,0022	0,0027
22.	Азот аммиака	0,19	0,18	0,13
23.	Окисляемость, мгO_2/л	2,37	2,28	1,28
24.	Кадмий	0,00006	0,00007	0,00007
25.	Ртуть	0,000004	0,000003	0,000002

Таблица 2.5 Качество воды Талимарджанского водохранилища по бактериологическим показателям

№ п/п	Место отбора проб воды	Бактериологические показатели	
		ОМЧ, кл/мл	БГКП,л (коли-индекс)
1.	Плотина №1	2,4 x 10^4	1400
2.	Плотина №2	2,3 x 10^4	1600
3.	Верхний бъеф	2,2 x 10^4	1300
4.	Нижний бъеф	2,3 x 10^4	1500
5.	Акватория	2,4 x 10^4	1400
6.	Выход из водохранилища	2,6 x 10^4	1500
7.	Отводящий канал	2,7x 10^4	1200
8.	Горизонтальный отстойник. Выход	2,0 x 10^4	1100
9.	Водоподготовка, вход	1,9 x 10^4	1100
10.	Распределительная сеть	1,1 x 10^4	3

Таблица 2.6 Качество воды КМК по химическим и бактериологическим показателям

№ п/п	Показатели, мг/дм^3	Сезоны года		
		Зима	Весна	Лето
1.	Алюминий	0,012	0,011	0,014
2.	Бериллий	0,00002	0,0002	0,00003
3.	Молибден	0,0022	0,012	0,013
4.	Мышьяк	0,0026	0,0024	0,0037
5.	Никель	0,0015	0,0013	0,0017
6.	Нитраты	3,0	3,0	4,0
7.	Нитриты	0,019	0,021	0,31
8.	Свинец	0,0004	0,0003	0,0006
9.	Селен	0,0012	0,0011	0,0016
10.	Стронций	1,5	1,4	1,6
11.	Фтор	0,29	0,28	0,26
12.	Бериллий	0,00002	0,00002	0,00003
13.	pH	7,50	7,60	7,70
14.	Общая минерализация	888	897	896
15.	Железо	0,01	0,02	0,02
16.	Жесткость общая, мг-экв/л	6,70	6,90	6,90
17.	Марганец	0,0050	0,0049	0,0053
18.	Медь	0,0018	0,0019	0,0021
19.	Сульфаты	310,0	302,0	311,0
20.	Хлориды	148,0	149,0	147,0
21.	Цинк	0,0026	0,0022	0,0027
22.	Азот аммиака	0,1	0,1	0,1
23.	Окисляемость, мгO_2/л	2,37	2,28	1,28
24.	Кадмий	0,00006	0,00007	0,00007
25.	Ртуть	0,000004	0,000003	0,000005
26.	БГКП, л (коли-индекс)	1500	1600	1500

Каршинский машинный канал (КМК) построен в 1973 году. Предназначен для орошения из реки Амударьи 402 тыс. га земель, в том числе 392 тыс. га в Узбекистане и 10 тыс. га в Туркменистане. Водозабор из реки с расходом до 240 м^3/с бесплотинный на правом берегу в районе мыса Пулизиндан, сложенного скальными породами. Водозабор и пропускная способность головного участка канала поддерживается круглогодичной работой 13 земснарядов. Русло в районе водозабора блуждает, отклоняясь в многоводные годы к правому, в маловодные - к левому берегу. Русорегулирующие и берегозащитные сооружения практически отсутствуют. На головном участке КМК протяженностью 78,4 км расположено 7 насосных станций: НС-1, НС-2, НС-3, НС-4, НС-5, НС-6, НС-7, осуществляющих подъем

воды на общую высоту 132,2 м. В конце головного участка находится наливное Талимарджанское водохранилище.

Насосные станции работают в течении всего года. На НС-4 в паводковый период в реке работают все 6 агрегатов без резерва. Перекачиваемая вода содержит до 3 г/л взвешенных веществ, в том числе абразивного характера. Насосные станции снабжаются электроэнергией по двух цепной линии 220 кВ, проложенной вдоль всего каскада от опорной подстанции при НС-3. При каждой насосной станции имеется понизительная подстанция. Подводящий канал к НС-1 от реки протяженностью 20 км построен в земляном русле, остальные участки канала между станциями имеют бетонную облицовку дна и откосов.

Из таблицы 2.6 видно, что по химическим показателям качество воды КМК соответствует требованиям, предъявляемым к источникам водоснабжения, используемым населением для культурно-бытовых нужд. Концентрации тяжелых металлов, органолептические показатели: pH, общая минерализация, общая жесткость, сульфаты, хлориды не выходят за пределы гигиенических требований. При этом существенной разницы в качестве воды в зависимости от сезона года не установлено. В связи с тем, что КМК не используется для хозяйственно-питьевого водоснабжения он относится к водоёмам 2 класса, при которой норматив (по ГОСТу 951:2011) по коли-индексу установлен на уровне 10000.

Микробиологическое состояние воды в КМК на всех изученных участках по сезонам года соответствует экологическим требованиям: зимой коли-индекс составлял 1500, весной - 1600 и летом - 1500 в 1 литре воды. Сезонная динамика изменения показателей микробиологического загрязнения воды не установлена.

Водоснабжение населения г. Карши осуществляется с помощью нескольких узлов накопления воды и насосных станций подкачки:

Узел «Насосная станция III-го подъёма» в г. Карши. На узле расположены: насосная станция, три резервуара для воды ёмкости 10000 м^3, и хлораторная. Насосная станция III-го подъёма построена в 1974 году оборудована насосами: 18НДС (Д2500-62) Q=2500 м^3/час. H=62 м, N=500 кВт - 6шт, 14НДС (Д1250-65) Q-1250 м^3/час. H=65 м, N=320 кВт - 3шт.

Узел подкачки "Табассум" На территории узла подкачки расположены: насосная станция, резервуары для воды - 500 м^3 - 2 шт, 1000 м^3 - 1 шт. Насосная станция построена в 1985 году, имеет два помещения, размером в плане 6х6м каждое. В каждом помещении расположено по два насоса. В первом - 8НДВ, производительностью 630 м^3/час, напором 90м и 6НДВ (1Д315-50) производительностью 315 м^3/час, напором 50 м. Во втором помещении установлены насосы 6НДВ и 5НДВ, производительностью 315 м^3/час, напором 50 м.

Резервуары для воды прямоугольные в плане. Один из них - заглубленный, второй-полузаглубленный, третий - на поверхности. Два резервуара не имеют фильтров-поглотителей. Один (заглубленный) имеет фильтр-поглотитель. Для измерения расхода воды на территории площадки на подающих и отводящих трубопроводах установлены водомеры.

Узел подкачки «Бахри Ором». На территории узла подкачки расположены: насосная станция, резервуары для воды – 500 м^3 - 2шт, 300 м^3 - 2шт.

Насосная станция оборудована 2-мя насосами 8 НДВ. Из 2-х насосов работает один. Резервуары для воды ёмкости 300 м^3 прямоугольные в плане, не заглубленные, в рабочем состоянии.

Узел подкачки «Чашма». На территории узла подкачки расположены два отдельно стоящих узла с насосной станцией №1 и резервуаром ёмкости 1000 м^3 - для 4-го микрорайона и насосной станцией №2 с двумя резервуарами ёмкостью по 500 м^3 - для микрорайонов 5 и 6. Насосная станция №1- заглублена на 2.15 м. Насосы установлены в 1992-1996 гг. марки 6НДВ – 2 шт. Резервуар с емкости1000 м^3 построен в 1992 году.

Насосная станция №2 построена в 1980 году оборудована насосами 8НДВ - 2шт. Резервуары с вместимости 500 м^3 - 2 шт.

Узел подкачки «Пахтазор». На узле подкачки расположены: насосная станция, резервуары для воды-500м^3 - 2 шт. Насосная станция размером в плане 6х5 м, высотой 3,0 м построена в 1980 году, не заглублена и оборудована 2-мя насосами 8 НДВ (1Д 630-90).

Узел подкачки «Оби-хаёт». На узле подкачки расположены: насосная станция подкачки, резервуары для воды-500м^3 – 2 шт. Насосная станция построена в 1953 году, оборудована 3-мя насосами. Два насоса 8 НДВ (1Д 630-90), и два насоса 6 Ш-8, производительностью 250 м^3/час, напором 50 м, N-75 кВт. Резервуары для воды частично заглублены, один - прямоугольный в плане, другой -круглый. Имеются фильтры-поглотители.

Узел подкачки «Политехникум». На узле подкачки расположены: насосная станция подкачки, резервуары для воды – 500 м^3 - 2шт. Насосная станция размером в плане 6х6 м построена в 1989 году. Оборудована двумя насосами ЗК-6, производительностью 50 м^3/час, напором 50 м. Резервуары для воды полу заглублены.

Узел подкачки «Педучилище». На узле подкачки расположены: Насосная станция Резервуары для воды-1000 м^3 – 2 шт, насосная станция в плане 6х6м, построена в 1994 году, оборудована 3-мя насосами типа насоса К 90/55, с производительностью 90 м^3/час и напором 55 м и один насос К 90/35, с производительностью 90 м^3/час и напором 35 м. Резервуары для воды заглублены на 1,5 м.

Узел подкачки «Махтумкули». На узле подкачки расположены: насосная станция, резервуары для воды-500м^3 – 2 шт. Насосная станция построена в 1986 году, оборудована 4-мя насосами: один насос 6НДВ (1Д315-50) и три насоса типа К 100-65-250, с производительностью 100 м^3/час, напором 65 м.

Узел подкачки «Батош». На узле подкачки расположены: насосная станция, резервуары для воды – 500 м^3 - 2 шт. Насосная станция оборудована насосами 4 К-8 в количестве 5 шт. с производительностью 90 м^3/час и напором 55 м. Все насосы требуют замены. Имеется грузоподъёмное оборудование - 0,5 т.

Узел подкачки «Путепровод». На узле подкачки расположены: насосная станция, резервуары для воды-500 м^3 – 2 шт. Насосная станция построена в 1995 году, оборудована 2-мя насосами ЗК-6 с производительностью 45 м^3/час и напором 55 м.

Узел подкачки «Шайхали». На узле подкачки расположены: насосная станция, резервуары для воды – 500 м^3 – 2 шт. Насосная станция построена в 1975 году. Здание кирпичное, размером в плане 6х18 м, заглублено на 2,6 м. В насосной станции имеется -3 фундамента под насосы, на двух фундаментах насосы не установлены. В работе находится 1 насос 6 НДС, производительностью 315 м^3/час, напором 50 м.

Насосная станция подкачки «Сохил». Насосная станция осуществляет забор воды из Мубарекского водовода d=1020 мм. Насосная станция построена в 1984 году как временное сооружение, оборудована 4-мя насосами: два насоса ЗК-9, производительностью 45 м^3/час, напором 30 м, и два насоса К 45/55, производительностью 45 м^3/час, напором 55 м.

Узел подкачки «Геология». На узле подкачки расположены: насосная станция, резервуары для воды-500 м^3-2 шт. Насосная станция построена в 1992 году, оборудована 3-мя насосами: 2 насоса К 160/30 с производительностью 160 м^3/час, напором 30м и один насос 5НДС, производительностью 200 м^3/час и напором 36 м.

Узел подкачки «Механизатор». На узле подкачки расположены: насосная станция, резервуары для воды-500 м^3 – 2 шт. В насосной станции размером в плане 6х9 с тремя насосами К100-65-250 (2раб, 1рез.), производительностью 600 м^3/час, напором 80 м.

Несмотря на достаточную мощность для подачи необходимого количество воды с требуемым напором в город Карши вода подаётся с перерывами - 2 раза в сутки, по графику. В г. Карши имеется развитая водопроводная сеть. Протяжённость магистральных сетей и водоводов более 420 км. Из-за высокой степени солености грунта и агрессивности по отношения металлу основной часть сетей вышла из строя и требует замены. Количество аварий на водоводах и сетях за последние 5 лет составило более 7000 шт. В связи с аварийным состоянием трубопроводов и частыми авариями на них утечки в сетях составляют до 40 % от общей подачи воды в город.

Многолетняя эксплуатация, а также отрицательного влияния подземных вод и грунта часть сетей вышла из строя, требуют замены. Количество аварий на водоводах и сетях за последний 5 лет возросло. Возникла острая необходимость проведения исследований по оценке состояния действующей системы питьевого водоснабжения города Карши.

Выводы по главе 2

1. Из-за развития орошаемого земледелия поверхностные водные источники в зоне их использования подвержены к загрязнению и в связи с этим они стали не пригодными для использования питьевого водоснабжения. Поэтому вся нагрузка питьевого водоснабжения населения Кашкадарьинской области попадает на подземные источники воды.

2. Транспортировка воды к г. Карши и к другим промышленным и районом центрам Кашкадарьинской области осуществляются региональными водоводами, а распределение воды в областном центре осуществляется по сложной гидравлической схеме. Анализ функционирования гидравлической цепи показывает, что в подаче воды происходят частые перебои, они в свою очередь обуславливает снижение надежности и проявление рисков безопасности питьевого водоснабжения населения.

3. Установлены закономерности формирования качества воды реки Кашкадарья, характеризующиеся тем, что лишь в нижнем течении (створ №3) микробиологические показатели качества воды превышают нормативный уровень. Пик бактериального загрязнения по коли-индексу и наличию в воде кишечных палочек приходится на летний период времени.

4. Установлено, что вода Талимарджанского водохранилища по химическим, органолептическим и бактериологическим показателям соответствует требованиям ГОСТа 951:2011. «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиеническое, техническое требования и правила выбора» (Ташкент, 2011).

5. По изученным органолептическим, токсикологическим, микробиологическим и химическим показателям качество воды КМК не выходит за пределы допустимых значений. При этом зависимости показателей качества воды от сезона года и расположения участка канала не установлено.

6. Для установления количественных и качественных характеристик надежности и безопасности водоснабжения г. Карши возникает необходимость проведения гидравлических исследований состояния действующих систем водоснабжения города.

ГЛАВА 3 ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ БАКТЕРИЙ В ВОДЕ СИСТЕМЫ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Система питьевого водоснабжения большинство городов и населенных пунктов эксплуатируются при плохом или при отсутствие отдельных элементов водоподготовки, в частности сооружений для перехвата песков или других продуктов сработки скважин в случае использования месторождений подземных вод. Вместе с этим из-за износа основных оборудований систем водоподачи и всевозрастающим дефиците питьевой воды часто нарушается непрерывность движения потока воды в напорных водоводах. Нарушение гидравлического режима движения воды в системах питьевого водоснабжения как уже были доказаны натурными экспериментами приводит к накоплению во внутренней части напорных трубопроводах отложений различного происхождения. Наличие во внутренней части трубопровода отложений приводит коррозии и с последующим разрушением материала труб, а это является источником попадания в систему питьевого водоснабжения микробов органического происхождения.

Микробиологический анализ воды в системе питьевого водоснабжения г. Карши с привлечением специалистов санэпидем службы показывает (таблица 4.5), что в момент остановки подачи воды общие количества бактерий в системах водоподачи возрастает, а с момента водоподачи из-за перемешивания со свежей водой число бактерий резко снижается. Конечно, принимаются меры, в частности ремонт и замена изношенных участков труб, однако городская система питьевого водоснабжения сложная и огромная разветвленная сеть и решить проблему надежности и безопасности водоснабжения одним разом решить невозможно. Для принятия более эффективных мер возникает необходимость моделированию самого процесса развития изменений качественных параметров питьевой воды. Для разработки гидравлических уравнений при описании процесса диффузионного перемешивание бактерий в воде в напорных водоводах пользуемся основными правилами гидравлического моделирования.

Принимая во внимание, что движение воды в напорных водоводах относится к квадратичной области сопротивления (автомодельное движение) гидравлическое моделирование осуществляется с использованием критерий динамического подобия критерием Фруда. Критерия Фруда, которая характеризует относительную величину силы тяжести, он является определяющим в случаях, когда для движения воды гравитационные факторы играют заметную роль. В системах централизованного питьевого водоснабжения процесс движения смеси: - воды и бактерий происходит при наличии вынужденных сил - сил гидродинамического давления, создаваемое насосными станциями, а также при наличие существенного сопротивления, создаваемое засорением труб, критерия Фруда оказывается не достаточной для создания гидравлических моделей. Поэтому для моделирования процесса, где возникает необходимость учета наиболее глубоких свойств смеси и при наличии вынужденных сил (сил гидродинамического давления создаваемое насосными станциями и сил трения, создаваемые продуктами засорения труб) возникает необходимость произвести гидравлическое моделирование с использованием и число Рейнольдса. В рассматриваемом нами случае, когда продукты засорения внутренней части труб создали условия к резкому увеличению гидравлического сопротивления труб, тогда возмущения, создаваемое насосными станциями попадают под воздействие противоположно направленное влияние сил трения. Поэтому при моделировании процессов диффузионного движения потока воды с бактериями в напорных трубопроводах используем две критерий динамического подобия гидравлических явлений критерий Фруда и Рейнольдса.

Рассмотрим задачу притока свежей воды в напорных водоводах системы питьевого водоснабжения с водой повышенной концентрацией бактерий. Свежая вода с концентрацией бактерией $c_{пр}$ транспортируется по трубе с радиусом $R_{пр}$ и поступает в цилиндрическую трубу с радиусом R_0, с объемом воды W_0, где из-за остановки движения воды появляется дополнительная концентрация бактерий c_0. Вследствие перемешивания свежей воды с водой

с повышенной концентрации бактерий происходить изменения концентрации бактерий в водоводе $c(t)$. В момент $t = t_1\ c_0 > c(t)$, концентрация бактерий достигает величины c^* - безопасное состояние воды для здоровья потребителя.

3.1 Динамика диффузионного перемешивания концентрации бактерий в питьевой воде

Ниже рассмотрим задачу о диффузионном перемешивание воды с различными бактериями в напорном водоводе. Поскольку область перемешивания является цилиндрические трубы с радиусами R_0, R_{np} (R_0 -радиус подводящей трубы, R_{np} - радиус магистральной транспортирующей трубы).

Используя (1.3.18) на основе диффузионного перемешивания для осредненного по живому сечению потока можем написать

$$\frac{\partial c}{\partial t} + div\vec{j} + \sigma c = div\vec{i} \tag{3.1.1}$$

где: $\vec{j} = cV_r\vec{e}_r + cV_\theta\vec{e}_\theta - (cV_\theta + \varepsilon_S\frac{\partial c}{\partial x})\vec{e}_x$

$\vec{i} = c_n\vec{V}_{np}\vec{e}_ч$

где: ε_S - коэффициент турбулентной диффузии;

V_0 - средняя по живому сечению скорость притока свежей воды.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + div\left(-cV_0 - \varepsilon_S\frac{\partial c}{\partial x}\right) = div\vec{i} \tag{3.1.2}$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = div\left(cV_0 + \varepsilon_S\frac{\partial c}{\partial x}\right) + div\vec{i}$$

В случае отсутствия притока свежей воды уравнение (3.1.1) примет вид:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = V_0\frac{\partial c}{\partial x} + W_0\frac{\partial c}{\partial r} + \varepsilon_S\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \tag{3.1.3}$$

Учитывая малости изменения концентрации бактерий в радиальном направлении и наличие химико-биологического воздействия, а также осевой симметрии рассматриваемого явления уравнении (3.1.3) можно переписать в виде:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + V_0\frac{\partial c}{\partial x} + \sigma c = \varepsilon_S\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \tag{3.1.4}$$

Введем безразмерные параметры $x = R_0\hat{x}$, $t = \sqrt{\frac{R_0}{g}}\tau$, тогда уравнение (3.1.4) примет вид:

$$\sqrt{\frac{g}{R_0}}\frac{\partial c}{\partial \tau} - \frac{V_0}{R_0}\frac{\partial c}{\partial \hat{x}^2} + \sigma c = \frac{\varepsilon_S}{R_0^2}\frac{\partial^2 c}{\partial \hat{x}^2} \tag{3.1.5}$$

или

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} - \sqrt{Fr}\,\frac{\partial c}{\partial \hat{x}^2} + \sigma_1 c = \varepsilon_S \sqrt{Fr}\,\frac{\partial^2 c}{\partial \hat{x}^2} \qquad (3.1.6)$$

Для преобразования уравнения (3.1.6) в гидравлическое уравнение, основные параметры потока воды будем выражать через число Фруда и Рейнольдса и получим гидравлическое уравнение для описания движения смеси воды и бактерий в виде безразмерных переменных:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} + \sqrt{Fr}\,\frac{\partial c}{\partial \hat{x}} + \hat{\sigma}_1 c = \hat{\varepsilon}_S \sqrt{Fr}\,\frac{\partial^2 c}{\partial \hat{x}^2},\ \text{здесь}\ \hat{\varepsilon}_S = \frac{\varepsilon_S}{V_0 R_0},\ \hat{\sigma}_1 = \sigma_1 \sqrt{\frac{R_0}{g}}\ ; \qquad (3.1.7)$$

Fr - число Фруда, которое учитывает изменение осредненных по живому сечению основных гидравлических параметров: - средней по живому сечению скорости потока и гидравлического радиуса $R_г = 0{,}5R_0$; $\hat{\varepsilon}_S$ - число Рейнольдса в диффузионном процессе, который учитывает характеристику движения и влияния силу возмущения и силу внутреннего трения оказывающую подавляющее влияние поступательному движению воды по напорному трубопроводу.

Диффузионное уравнение изменения концентрации за счет притока и оттока свежей воды в виде безразмерных переменных имеет вид:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} + \sqrt{Fr}\,\frac{\partial c}{\partial x} + \sigma_1 c = \hat{\varepsilon}_S \sqrt{Fr}\,\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + f(\tau) \qquad (3.1.8)$$

где

$$f(\tau) = \frac{c_{np}\int_0^{\tau} \hat{Q}_{np} d\tau - c^* \int_{\tau_0}^{\tau} \hat{Q}_{om} d\tau}{1 + \int_0^{t} \hat{Q}_{np} dt - \int_0^{\tau} \hat{Q}_{om} d\tau}$$

здесь

$$\hat{Q}_{np} = \frac{Q_{np}}{Q_0},\ \hat{Q}_{om} = \frac{Q_{om}}{Q_0},\ \hat{Q}_0 = \frac{Q_0}{W_0}\sqrt{\frac{R_0}{g}}$$

Q_0 – регулируемый расход воды.

Для решения уравнения (3.1.8) введем функцию $F(x)$:

$$c(\hat{x}, \tau) = e^{-\lambda \tau} F(\hat{x}) \qquad (3.1.9)$$

Учитывая равенство (3.1.9) уравнение (3.1.8) приводится к виду:

$$-\lambda F(\hat{x}) + \sqrt{Fr}\,\frac{dF}{d\hat{x}} + \sigma_1 c = \hat{\varepsilon}_S \sqrt{Fr}\,\frac{d^2 F}{d\hat{x}^2} + f(\tau) e^{\lambda \tau}$$

или

$$\sigma_1 F(\hat{x}) - \lambda F(\hat{x}) + \sqrt{Fr}\,\frac{dF}{d\hat{x}} = \hat{\varepsilon}_S \sqrt{Fr}\,\frac{d^2 F}{d\hat{x}^2} + m_0$$

или

$$(\sigma_1 - \lambda)F(\hat{x}) + \sqrt{Fr}\,\frac{dF}{d\hat{x}} = \hat{\varepsilon}_S\sqrt{Fr}\,\frac{d^2F}{d\hat{x}^2} + m_0 \qquad (3.1.10)$$

где: $m_0 = f(\tau)e^{\lambda\tau}$.

Предположим, что подача свежей воды осуществляется законом:

$$\hat{Q}_{np} = e^{-\lambda\tau}\tilde{Q}_{np}$$

Тогда из последнего равенства будем иметь:

$$c_{np} = c_{np}^0 e^{-\lambda\tau},\ c^* = c^{0*}e^{-\lambda\tau}$$

$$m_0 = f(\tau)e^{\lambda\tau} = \frac{c^*Q^*{}_{om} - c_{np}^0 Q^0{}_{np}}{\lambda - Q^0{}_{np}}. \qquad (3.1.11)$$

Тогда для объема притока свежей воды, имеем:

$$\tilde{W}_{np} = \frac{W_{np}}{\tilde{W}_0} = \frac{\int_0^\tau \hat{Q}_{np}\,d\tau}{W_0};$$

Поскольку имеет место неравенства

$$\frac{W_{np}}{W_0} << 1.$$

Откуда будем иметь:

$$W_0 c_0 + \tilde{W}_{np}c_{np} = c^*W_0 + \tilde{W}_{np}c^*$$

Таким образом, определен необходимый объем свежей воды для получения необходимой концентрации бактерий в воде для потребления**:**

$$\frac{\tilde{W}_{np}}{W_0} = \frac{c_0 - c^*}{c^* - c_{np}}$$

Для решения уравнения (3.1.10) введем функцию $\Phi(\hat{x})$ следующим образом:

$$F(x) = \Phi(x) + \hat{x}\frac{m_0}{\sigma_1 - \lambda} \qquad (3.1.12)$$

Тогда для введенной функции $\Phi(\hat{x})$ имеем уравнение:

$$\hat{\varepsilon}_S\sqrt{Fr}\,\Phi''(\hat{x}) - \sqrt{Fr}\,\Phi'(\hat{x}) - (\sigma_1 - \lambda)\Phi(\hat{x}) = 0 \qquad (3.1.13)$$

Для концентрации бактерии при $\tau = 0$ начальными условиями на границах $\hat{x} = 0,\ \hat{x} = \hat{L}$ будут

$$c(0;0) = c_{np};\ c(\hat{L};0) = c_0$$

$$F(0)=c_{np},\ F(\hat{L})=c_0$$

$$\left.\begin{aligned}\Phi(0)&=F(0)-\frac{m_0}{\sigma_1-\lambda}=c_{np}-\frac{m_0}{\sigma_1-\lambda}\\ \Phi(\hat{L})&=F(\hat{L})-\frac{m_0}{\sigma_1-\lambda}=c_0-\frac{m_0}{\sigma_1-\lambda}\end{aligned}\right\} \qquad (3.1.14)$$

$$\Phi(\hat{x})=e^{\beta\hat{x}} \qquad (3.1.15)$$

Характеристическое уравнение для - λ :

$$\beta^2\hat{\varepsilon}_S\sqrt{Fr}-\beta\sqrt{Fr}-(\sigma_1-\lambda)=0$$

Решая квадратное уравнение, получим:

$$\beta_{1,2}=\frac{1\pm\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S},\quad \hat{\varepsilon}=1+\frac{4\hat{\varepsilon}_S(\sigma_1-\lambda)}{\sqrt{Fr}},\ \hat{\varepsilon}_S>0$$

Тогда решением дифференциального уравнения будет:

$$\Phi(\hat{x})=A_1\exp\left(\frac{1+\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{x}\right)+A_2\exp\left(\frac{1-\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{x}\right) \qquad (3.1.16)$$

Учитывая начальные и краевые условия, получим следующее уравнения для коэффициентов

$$\Phi(0)=A_1+A_2=c_{np}-\frac{m_0}{\sigma_1-\lambda}$$

$$\Phi(\hat{L})=A_1\exp\left(\frac{1+\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{L}\right)+A_2\exp\left(\frac{1-\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{L}\right)=c_0-\frac{m_0}{\sigma_1-\lambda} \qquad (3.1.17)$$

Теперь определим коэффициент λ частоту из равенства:

$$W_{np}=\widetilde{W}_{np}e^{-\lambda\tau^*};\ e^{-\lambda\tau^*}=\frac{W_{np}}{\widetilde{W}_{np}};\ \lambda\tau^*=\ln\frac{\widetilde{W}_{np}}{W_{np}}$$

так, что

$$\lambda=\frac{1}{\tau^*}\ln\frac{\widetilde{W}_{np}}{W_{np}}\ \text{или}\ \tau^*=\frac{1}{\lambda}\ln\frac{\widetilde{W}_{np}}{W_{np}} \qquad (3.1.18)$$

Учитывая равенства (3.1.11), (3.1.18) и равенства $\tau^*=\sqrt{\frac{g}{R_0}}t^*$.

Решением систему линейных алгебраических уравнений методом Крамера определим неизвестные коэффициенты равенства (3.1.17) A_1 u A_2:

$$A_1=\frac{\Delta_1}{\Delta_0},\ A_2=\frac{\Delta_2}{\Delta_0}$$

где

$$\Delta_0 = \exp\left(\frac{1+\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{L}\right) + \exp\left(\frac{1-\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{L}\right)$$

$$\Delta_1 = c_{np}\exp\left(\frac{1-\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{L}\right) + \frac{m_0}{\sigma_1-\lambda}\exp\left(\frac{1-\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{L}\right) - c_0 + \frac{m_0}{\sigma_1-\lambda}$$

$$\Delta_2 = c_0 - \frac{m_0}{\sigma_1-\lambda} - c_{np}\exp\left(\frac{1+\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{L}\right) + \frac{m_0}{\sigma_1-\lambda}\exp\left(\frac{1+\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{L}\right)$$

Откуда имеем:

$$A_1 = \frac{1}{\Delta_0}\left[c_0 - \frac{m_0}{\sigma_1-\lambda} + \frac{m_0}{\sigma_1-\lambda}\exp\left(\frac{1-\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{L}\right) - c_{np}\exp\left(\frac{1-\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{L}\right)\right]\Bigg\}$$

$$A_2 = \frac{1}{\Delta_0}\left[\frac{m_0}{\sigma_1-\lambda} - c_0 + c_{np}\exp\left(\frac{1+\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{L}\right) - \frac{m_0}{\sigma_1-\lambda}\exp\left(\frac{1-\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{L}\right)\right]\Bigg\}$$

$$\Phi(\hat{x}) = \frac{1}{\Delta_0}\left\{\left[c_0 - \frac{m_0}{\sigma_1-\lambda} + \frac{m_0}{\sigma_1-\lambda}\exp\left(\frac{1-\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{L}\right) - c_{np}\exp\left(\frac{1-\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{L}\right)\right]\exp\left(\frac{1+\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{x}\right) + \right.$$

$$\left. + \left[\frac{m_0}{\sigma_1-\lambda} - c_0 + c_{np}\exp\left(\frac{1+\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{L}\right) - \frac{m_0}{\sigma_1-\lambda}\exp\left(\frac{1+\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{L}\right)\right]\exp\left(\frac{1-\sqrt{D}}{2\hat{\varepsilon}_S}\hat{x}\right)\right\}$$

$$F(\hat{x}) = \Phi(\hat{x}) + \frac{m_0}{\sigma_1-\lambda} \tag{3.1.19}$$

Таким образом, получили закономерность распределения концентрации бактерий вдоль оси трубы для произвольного момента времени

$$c(\hat{x},\tau) = F(\hat{x})e^{-\lambda\tau} \tag{3.1.20}$$

Положив $\hat{x} = \hat{L}$, $\tau = \tau^*$ получим уравнение для определения времени, τ^* когда концентрация бактерии уменьшается до допустимой нормы

При отсутствии химико-биологического процесса $(\sigma = 0)$

$$c^* = c\left(\hat{L},\tau^*\right)$$
$$\tau^* = \frac{1}{\lambda}\ln\left(\frac{F(\hat{L})}{c^*}\right) \tag{3.1.21}$$

При достижении этого времени к потребителю подается вода безопасного уровня. При $0 < t < t^*$, $Q_{om} = 0$, а при $\tau^* \le \tau < t_k$ работает система подачи свежей воды и время водоподачи t_k определяется из условия объема свежей воды в резервуаре чистой воды. $Q_{np} = 0$. Где Q_o, Q_{np} –расходы воды, пр.-приток и от-отток из напорных водоводов.

3.2 Изменение объемной концентрации бактерий в водоводах при организации подачи постоянного расхода в постоянной по времени притока воды

Теперь рассматриваем задачу изменения концентрации бактерий при постоянстве ее величины по объему, но изменяющегося по времени *c=f(t)*. Принимая баланс объема гомогенной смеси: - воды и концентрацию бактерий в водопроводной сети в момент остановки движения воды в трубах по уравнению ($t = t_0$):

Изменение объема воды в системе водоснабжения при наличии притока и оттока воды с соответствующими концентрациями бактерий

$$\begin{aligned} W^{(в)} &= W^{(в)}(t_0) + W_{пр}^{(в)} - W_{от}^{(в)} \\ W^{в} &= W_0(1-c_0) + (1-c_{пр}) \times \\ &\times \int_{t_0}^{t} Q_{пр}(t)dt + (1-c^*)\int_{t_0}^{t} Q_{от}(t)dt \end{aligned} \tag{3.2.1}$$

Изменение объема концентрации бактерий

$$W^{(s)} = W^{(s)}(t_0) + W_{пр}^{(s)} - W_{от}^{(s)}$$

$$W^{(s)} = W_0 c_0 + + c_{пр}\int_{t_0}^{t} Q_{пр}(t)dt + c^*\int_{t_0}^{t} Q_{от}(t)dt$$

$$W\ (t) = W_{тр}^{(в)}(t) + W_{тр}^{(s)}(t) \tag{3.2.2}$$

Исходя из условий поставленной задачи принимаем расход свежей воды $Q_{пр}(t)$ на входе в водопроводную сеть и концентрация бактерий в составе этой воды $c_{пр}$ постоянными во времени

$$Q_{пр}(t) = Q_{пр}^0\ ,\ c_{пр} = const \tag{3.2.3}$$

Тогда объём поступающей в водопроводную сеть свежей воды определятся равенством

$$\int_{t_0}^{t} Q_{пр}(t)dt = Q_{пр}^0\int_{t_0}^{t} dt = Q_{пр}^0(t-t_0) \tag{3.2.4}$$

Используя уравнения баланса расхода воды и концентрации бактерий (3.2.1) и (3.2.2) находим выражение для изменения концентрации бактерий

$$c(t) = \frac{W_0 c_0 + Q_{пр}^0 c_{пр}(t-t_0)}{W_0 + Q_{пр}^0(t-t_0)} \tag{3.2.5}$$

Давление на входе в водопроводную сеть давление необходимое для получения нужной концентрации бактерий с учетом модуля упругости воды находится по уравнению

$$P(t) = P_0 + \frac{E_0}{c_{пр}}\left[\frac{Q_{пр}^0(c_0 - c_{пр})(t-t_0)}{W_0 + Q_{пр}^0(t-t_0)}\right] \tag{3.2.6}$$

В соответствие со стандартами, принятыми для питьевой воды, должно соблюдаться условие $c(t^*) = c^* \le c_{np}$, величина допустимой концентрации с учетом подачи постоянного расхода свежей воды с давлением *P* определяется по зависимости:

$$c(t^*) = c^* = \frac{W_0 c_0 + Q_{np}^0 c_{np}(t^* - t_0)}{W_0 + Q_{np}^0 (t^* - t_0)} \tag{3.2.7}$$

Для установления продолжительности времени подачи постоянного расхода воды с постоянной концентрацией бактерий получается следующая зависимость

$$t^* = t_0 + \frac{W_0}{Q_{np}^0} \frac{(c_0 - c^*)}{(c^* - c_{np})} \tag{3.2.8}$$

Для подачи постоянного во времени расхода воды необходимо создание необходимого давления на входе в водопроводную сеть, величина такого давления можно определить по уравнению

$$P(t^*) = P^* = P_0 \frac{Q_{np}^0 (t^* - t_0)}{W_0 + Q_{np}^0 (t^* - t_0)} \tag{3.2.9}$$

3.3 Динамика изменения концентрации бактерий в водоводах при подаче воды в систему насосной станцией с переменным режимом работы

Принимая обозначения: $Q_{np}(t)$ - подача насосной станцией воды с концентрацией бактерий - c_{np}; наличие бактерий на единицы объема воды на выходе из насосной станции- $c_{\min}$. Подача питьевой воды осуществляется в водовод цилиндрической формы с конечном объемом и имеет радиус R и длину L . В момент остановки насосной станции $t_0, (t = t_0)$ на рассматриваемом участке водовода находится вода с объемом $W_0(t_0) = \pi R^2 L$ с концентрацией бактерией - c_0 и отсутствует приток воды, т.е. $Q_{np}(t \le t_o) = 0$ (также при $t = t_0$, $Q_{np}(t_0) = 0$). С началом работы насосной станции или при $t = t_0$ в водовод начинает поступать вода питьевого качество с расходом $Q_{np}(t)$ и с концентрацией c_{np} , где $c_{np} \prec c_0$. В процессе механического перемешивания в водоводе формируется вода с концентрацией $c(t)$ для которой имеет место неравенство $c_{np} \prec c(t) \prec c_0$.

Рассматриваем задачу, при которой в водоводе с диаметром d и длиной L имеется вода с большими концентрациями бактерий $(c_0 \succ c_n)$. Объем воды до момента $t \le t_0$ имеет концентрации бактерий:

$$W_н^{(в)} = W_0(1 - c_0) \text{ и } W_н^{(c)} = W_0 c_{0j} \tag{3.3.1}$$

где $W_0 = \frac{\pi}{4} d^2 L$

С момента $t = t_0$ начинает поступление воды в водовод с расходом $Q_{пр}(t)$ и концентрацией бактерий $c_{пр}$. Для достижения воды питьевого качество должна удовлетворят условие $c_{пр}<c_0$. В водовод при $t_0 \le t$ поступает вода с концентраций бактерий $c_{пр}$ и секундным расходом $Q_{пр}(t)$. Тогда за время dt в водовод поступает вода с объемом $dW_{пр} = Q_{пр}dt$

Уравнение баланса объема вода и концентрации бактерий за время *dt* можно описать равенствами:

$$dW_{пр}^{(в)} = Q_{пр}(1-c_{пр})dt\,,\; dW_{пр}^{(s)} = Q_{пр}c_{пр}dt \tag{3.3.2}$$

Откуда общий объем воды с бактериями в водоводе выражается уравнением

$$W(t) = W_0 + \int_0^t Q_{пр}dt \tag{3.3.3}$$

А объем воды необходимое для подачи в водовод до достижения воды питьевого качество можно определить

$$W^{в}(t^*) = W_0(1-c_0) + \left[\int_{t_0}^{t^*} Q_{пр}(t)dt\right](1-c_{пр}) \tag{3.3.4}$$

$$W^{(s)}(t^*) = W_0c_0 + \left(\int_{t_0}^{t^*} Q_{пр}dt\right)c_{пр} \tag{3.3.5}$$

Из (3.3.4) и (3.3.5) зависимости можно определить динамику изменения концентрации бактерий в водоводе с учетом притока свежей воды

$$c(t) = \frac{W^{(s)}(t)}{W(t)} = \frac{W_0c_0 + \int_{t_0}^{t} Q_{пр}(t)c_{пр}dt}{W_0 + \int_{t_0}^{t} Q_{пр}dt} \tag{3.3.6}$$

Зависимость (3.3.6) даёт основание для получения динамику изменения объема воды с концентраций бактерий, происходящие в процессе механического перемешивания. Из (3.3.6) зависимости следует, что в момент $t_0<t$ концентрация бактерий в воде уменьшается и в момент $t=t^*$ достигает концентрации c^*, где $c^*<c_{пр}<c_0$, с этого момента и начинается подача воды в водопроводную сеть. При этом величина притока воды водоём и величины оттока воды из него равны

$$Q_{вых}(t) = Q_{пр}(t) \;=\; Q^*(t), \tag{3.3.7}$$

т.е. объем воды в водоводе остается постоянной.

Рассмотрим задачу, в момент $t \ge t^*$ с учетом притока и оттока воды, когда в водовод поступает вода с концентраций $c_{пр}^*$ и с расходом $Q_{пр}^*$, тогда количество поступающей чистой воды будет равным:

$$\left.\begin{aligned} W_{пр}^{*в}(t) &= Q_{пр}^*(1-c_{пр}^*)_j \\ W_{пр}^{*з}(t) &= Q_{пр}^*c_{пр}^* \end{aligned}\right\} \tag{3.3.8}$$

Тогда в водоводе количество воды и концентрация бактерий в момент t^* определяется равенствами

$$W^{в}(t^*) = W_0(1-c_0) + \left[\int_{t_0}^{t^*} Q_{пр}(t)dt\right](1-c_{пр})$$
$$W^{(s)}(t^*) = W_0 c_0 + \left(\int_{t_0}^{t^*} Q_{пр}dt\right)c_{пр} \quad (3.3.9)$$

Для случая данного водовода соблюдается равенство: $Q_{вых}(t^*) = Q^*_{пр}(t)$

Для условия баланса расходов воды в водоводе, принимаем и условие баланса концентрации бактерий $c_{вых}(t^*) = c^* = const$

Тогда объем чистой воды с концентраций бактерий на выходе из водовода будет равен

$$W^{в}_{вых} = \int_{1}^{t} Q^*_{пр}(t)(1-c^*)dt$$
$$W^{(s)}_{вых} = \int_{t^*}^{t} Q^*_{пр}(t)c^*dt \quad (3.3.10)$$

Изменения концентрации бактерий в водоводе $c_2(t)$ определяется из следующих балансовых уравнений:

$$W^{(в)}_{водт} = W^{(в)}(t^*) + W^{(в)}_{пр} - W^{(в)}_{выт} = W_0(1-c_0) +$$
$$+(1-c_{пр})\int_{t_0}^{t} Q_{пр}(t)dt \ -(1-c^*)\int_{t_0}^{t} Q_{от}(t)dtt \quad (3.3.11)$$

$$W^{(s)}_{водт} = W^{(s)}(t^*) + W^{(s)}_{пр} - W^{(s)}_{выт} = W_0 c_0 +$$
$$+\int_{t_0}^{t} Q_{пр}(t)c_{пр}dt - c^*_{пр}\int_{t^*}^{t} Q^*_{от}(t)dt \quad (3.3.12)$$

Откуда определяется концентрация бактерий в водоводе:

$$c_2(t) = \frac{W^{(s)}}{W^{(s)} + W^{(в)}} = \frac{W^{(s)}}{W(t_1) + \int_{t^*}^{t} Q_{пр}{}^*(t)dt - \int_{t^*}^{t} Q_{от}{}^*(t)dt} \quad (3.3.13)$$

Или изменение концентрации бактерий в водоводе можно переписать в виде

$$c_2(t) = \frac{W^{(s)}(t^*) + W^{(s)}_{пр} - W^{(s)}_{вых}}{W(t^*)} \quad (3.3.14)$$

или

$$dc(t) = c_2(t) - c_1(t) = \frac{W_2(t) - W_1}{W(t)} = 0 \quad (3.3.15)$$

или откуда получаем, что при $t>t^*$ должна быть $c_2(t) = c_1(t) = c(t) = c^*$ и обеспечивается регулярная подача безопасной питьевой воды.

При подачи воды в водовод с давлением P, происходит изменение объема воды в нем. Принимая $\frac{dW}{dp} = -\beta_W W$, теперь рассмотрим задачу об изменения давления воды в водоводе, где β_W - коэффициент сжимаемости жидкости находим, $dp = -\frac{dW}{W} \cdot \frac{1}{\beta_W}$ - изменение давление в водоводе с учетом сжимаемости воды. Вводим модуль упругости E_0, где $E_0 = \frac{1}{\beta_W}$ тогда имеем $dp = -E_0 \frac{dW}{W}$, откуда находим

$$\frac{dW}{W} = -\frac{dP}{E_0} \tag{3.3.16}$$

Тогда изменение концентрации бактерий в воде с учетом модуль ее упругости можно определить из зависимости

$$dc(t) = -\frac{c_{np}}{E_0} dP \tag{3.3.17}$$

При $\frac{dc(t)}{dt} = -\frac{c_{np}}{E_0}\frac{dp}{dt}$ интегрируя во времени (3.3.17) с учетом начальных условий $c(t_0)=c_0$ и $P(t_0)=P_0$ получим уравнение для описания динамику концентрации бактерий в зависимости от изменения давления воды.

$$c(t) = c_0 - \frac{c_{np}}{E_0}\left[P(t) - P_0\right] \text{ или } c(t) = 1 - \frac{c_{np} P_0}{E_0}\left[\frac{P(t)}{P_0} - 1\right] \tag{3.3.18}$$

Для моделирования изменения давления, необходимое для получения заданной концентрации бактерий в водоводе используем зависимость

$$P(t) - P_0 = \left[c_0 - c(t)\right]\frac{E_0}{c_{np}} = \frac{E_0}{c_{np}} \cdot \frac{\int_0^t Q_{np}(t)dt}{W_0 + \int_0^t Q_{np}(t)dt} \tag{3.3.19}$$

Закономерность изменения давления воды в водоводе для заданной концентрации бактерий описывается уравнением.

$$P(t) = P_0 + \frac{E_0}{c_{np}} \cdot \frac{\int_0^t Q_{np}(t)dt}{W_0 + \int_0^t Q_{np}(t)dt} \tag{3.3.20}$$

В уравнениях приняты обозначения:

$Q_{np}(t)$ - подача в водопроводную сеть, м^3/с;

$Q^*_{np}(t)$ - величина потребного расхода, м^3/с

$W_{тр}^{(в)}$ - объем воды в водопроводной сети в период остановки подачи воды м^3;

$W^{(в)}(t^*)$ - объем воды в водопроводной сети в момент времени t^*

$W_{пр}^{(в)}$ - объем притока воды в сеть;

$W_{от}^{(в)}$ - объем оттока из сети;

W_0 - объем смеси воды с бактериями водопроводной сети в момент t_0;

$c_{пр}$ - концентрация бактерий на единицу объема воды на входе в водопроводную сеть, число/м^3;

c^* - величина ПДК, число/м^3;

C_o - концентрация бактерий на единицу объема воды, число/м^3

$W_{тр}^{(s)}$ - объем смеси воды в сети с началом подачи воды в водопроводную сеть;

$W^{(s)}(t^*), W_{пр}^{(s)}, W_{от}^{(s)}$ - объемы смеси воды, соответствующие в момент времени *t,* притока и оттока из сети с началом подачи свежей воды к водопотребителям *(t^*<t).*

3.4 Способы регулирования подачи свежей воды в систему питьевого водоснабжения

3.4.1 Оперативное регулирование изменения подачи расхода воды в систему питьевого водоснабжения

Используем уравнения баланса объемов воды и концентрации бактерий, тогда изменение общего объема воды в водопроводной сети определяется равенством:

$$W_{вод}(t) = \begin{cases} W(t_0) + W_{пр}(t), при \dots t_0 \le t \le t^* \\ W(t^*) + W_{пр}^{(1)}(t) - W_{отв}^* \ \ t \ \ , при \dots t^* < t \le T \end{cases} \qquad (3.4.1.1)$$

Изменение объема воды и концентрации бактерии в водопроводной сети:
Объем воды:

$$W_{вод}^{(в)}(t) = \begin{cases} W(t_0)(1-c_0) + W_{пр}(t)(1-c_{пр}), при \dots t_0 \le t \le t^* \\ W(t^*)(1-c_0) + W_{пр}^{(1)}(t)(1-c_{пр}^{(1)}) - W_{отв}^* \ \ t \ \ (1-c^*), \end{cases}$$

Объем бактерий:

$$W_{вод}^{(s)}(t) = \begin{cases} W(t_0)c_0 + W_{пр}(t)c_{пр}, при \dots t_0 \le t \le t^* \\ W(t^*)c^* + W_{пр}^{(1)}(t)c_{пр}^{(1)} - W_{отв}^* \ \ t \ \ c^*, при \dots t^* < t \le T \end{cases} \qquad (3.4.1.2)$$

где

$$W_{пр}(t) = \int_{t_0}^{t} Q_{пр}(t)dt, \ W_{пр}^{(1)} = \int_{t^*}^{t} Q^{(1)}{}_{пр}(t)dt, \ W_{отв}^* = \int_{t^*}^{t} Q_{от}^*(t)dt$$

Тогда изменение концентрации в водопроводной сети определяется равенством при $t_0 \le t \le t^*$

$$c^*(t) = \frac{W(t_0)c_0 + W_{np}(t)c_{np}}{W(t_0) + W_{np}(t)} = \frac{W_0 c_0 + c_{np}\int_{t_0}^{t} Q_{np}(t)dt}{W_0 + \int_{t_0}^{t} Q_{np}(t)dt} \qquad (3.4.1.3)$$

При $t^* \le t \le T$

$$c_1^*(t) = \frac{W(t^*)c^* + W_{np}^*(t)c_{np}^{(1)} - W_{отв}^* c^*}{W(t^*) + W^{(1)}{}_{np}(t) - W_{отв}^*} \qquad (3.4.1.4)$$

В уравнениях приняты обозначения:

$Q_{np}(t)$ - подача насосной станции, м^3/с; $Q_{np}^*(t)$ - величина потребного расхода, м^3/с; $W_{вод}^{(в)}$ - объем воды в водопроводной сети в период остановки насосной станции м^3; $W^{(в)}(t^*)$ - объем воды в водопроводной сети в момент времени t^*; $W_{np}^{(в)}$ - объем притока воды в сеть; $W_{от}^{(в)}$ - объем оттока из сети; c_{np} - концентрация бактерий на единицу объема воды на выходе из насосной станции, число/м^3; c^* - величина ПДК, число/м^3; $W_{вод}^{(s)}$ - объем воды с бактериями в сети в момент функционирования насосной станции; Т-продолжительность работы насосной станции; $W^{(s)}(t^*), W_{np}^{(s)}, W_{от}^{(s)}$ - объемы воды с бактериями соответствующие в момент времени *t*, притока и оттока из сети в период работы насосной станции.

3.4.2 Экспоненциальные законы подачи расхода насосной станции третьего подъема

Принимая экспоненциально возрастающий закон изменения расхода воды:

$$Q_{np}(t) = Q_{np}^0 \exp(-\lambda t), c = const \qquad (3.4.2.1)$$

где λ- коэффициент, который определяется $\alpha \frac{W_0}{Q_{np}^0} = \lambda$, где α- поправочный коэффициент, учитывающий соотношение размера нагнетательной трубы насоса и размера трубы водовода.

Тогда

$$\int_{t_0}^{t} Q_{np}(t)dt = Q_{np}^0 \int_{t_0}^{t} \exp(-\lambda t)dt = -\frac{Q_{np}}{\lambda}\left[\exp(-\lambda t) - \exp(-\lambda)\right] \qquad (3.4.2.2)$$

Откуда имеем

$$\int_{t_0}^{t} Q_{np}(t)dt = \frac{Q_{np}}{\lambda}\left[\exp(-\lambda t_0) - \exp(-\lambda t)\right] \qquad (3.4.2.3)$$

С учетом (3.4.2.3) из (3.4.2.1), (3.4.2.2) и (3.4.2.3) уравнений получаем динамику изменения концентрации бактерий в воде, когда насосная станция третьего подъема работает по экспоненциальному закону:

$$c(t) = \frac{W_0 c_0 + \frac{Q^0{}_{np}}{\lambda}\left[\exp(-\lambda t_0) - \exp(-\lambda t)\right] c_{np}}{W_0 c_0 \frac{Q^0_{np}}{\lambda}\left[\exp(-\lambda t_0) - \exp(-\lambda t)\right]} \tag{3.4.2.4}$$

Для достижения необходимого уровня ПДК бактерий насосная станция третьего подъема должна обеспечивать давление в водопроводной сети, величина такого давления определяется уравнением.

$$P(t) = P_0 + \frac{E_0}{c_{np}} \cdot \frac{Q^0_{np}\left[\exp(-\lambda t_0) - \exp(-\lambda t)\right]}{\lambda W_0 + Q^0_{np}\left[\exp(-\lambda t_0) + \exp(-\lambda t)\right]} \tag{3.4.2.5}$$

В (3.4.2.5) принимается во внимание, что в водопроводной сети сжимается под давлением подаваемой насосной станцией. Тогда изменение концентрации бактерий в водопроводной сети изменяется по зависимости:

$$c(t) = \frac{\lambda W_0 c_0 + Q^0_{np}\left[\exp(-\lambda t_0) - \exp(-\lambda t)\right] c_{np}}{\lambda W_0 + Q^0_{np}\left[\exp(-\lambda t_0) + \exp(-\lambda t)\right]} \tag{3.4.2.6}$$

В момент $t = t^*$ концентрация бактерий достигает ПДК $c_{np} < c^* < c_0$, тогда

$$c(t^*) = c^* = \frac{\lambda W_0 c_0 + Q^0_{np}\left[\exp(-\lambda t_0) - \exp(-\lambda t)\right] c_{np}}{\lambda W_0 + Q^0_{np}\left[\exp(-\lambda t_0) - \exp(-\lambda t)\right]} \tag{3.4.2.7}$$

В данной задаче возникает необходимость определения времени работы насосной станции, для чего (3.4.2.7.) зависимость переписываем в виде:

$$\begin{aligned} &c^* \lambda W_0 + Q^0_{np}\left[\exp(-\lambda t_0) - \exp(-\lambda t)\right] c^* = \\ &\lambda W_0 c_0 + Q^0_{np}\left[\exp(-\lambda t_0) - \exp(-\lambda t)\right] c_{np} \cdot \lambda_0 W_0 (c_0 - c^*) = \\ &= Q^*_{np}(c^* - c_{np})\left[\exp(-\lambda t_0) - \exp(-\lambda t)\right] \end{aligned} \tag{3.4.2.8}$$

Элементы, входящие в (3.4.2.8):

$$\exp(-\lambda t^*) = \exp(-\lambda t_0) + \frac{\lambda W_0 (c_0 - c^*)}{Q^0_{np}(c^* - c_{np})}$$

$$-\lambda t^* = \ln\left[\exp(-\lambda t_0) + \frac{\lambda W_0 (c_0 - c^*)}{Q^0_{np}(c^* - c_{np})}\right]$$

$$-\lambda t^* = \ln\left[\exp(-\lambda t_0) \cdot \left[1 + \frac{\lambda W_0 (c_0 - c^*)}{Q^0_{np}(c^* - c_{np})} \exp(\lambda t_0)\right]\right]$$

$$-\lambda t^* = -\lambda t_0 + \ln\left[1 + \frac{\lambda W_0 (c_0 - c^*)}{Q^0_{np}(c^* - c_{np})}\exp(\lambda t_0)\right] \quad (3.4.2.9)$$

Время функционирования насосной станции третьего подъема определяется по:

$$t^* = t_0 - \frac{1}{\lambda}\ln\left[1 + \frac{\lambda W_0 (c_0 - c^*)}{Q^0_{np}(c^* - c_{np})}\exp(\lambda t_0)\right] \quad (3.4.2.10)$$

Для достижения концентрации бактерий в воде водопроводной сети до уровня предельно допустимой концентрации (ПДК) т.е. $c_{np} < c^* < c_0$ необходимое время работы насосной станции определяется выражением:

$$t^* = t_0 - \frac{1}{\lambda}\ln\left[1 - \frac{c_0 - c^*}{c_{np} - c^*}\exp(\lambda t_0)\right] \quad (3.4.2.11)$$

3.4.3 Экспоненциально понижающий закон подача расхода воды

Для организации оперативного вмешательства в негативный процесс распространения бактерий различного характера в системах питьевого водоснабжения принимаем метод управления подачи воды из насосной станции, подчиняющегося по экспоненциально понижающему закону:

$$Q_{np}(t) = Q^0{}_{np}\left[1 - \exp(-\lambda t)\right] \quad (3.4.2.12)$$

где, $Q_{пр}(t)$ - приток свежей воды с момента $t = t_0$ и до момента t^*, которое определяется в процессе решения; $Q^0{}_{пр}$- приток воды в момент $t = t_0$;

Тогда изменение объема воды в водоводе $W(t)$ определяется равенством:

$$\begin{aligned} W(t) &= W_0 + \int_{t_0}^{t} Q_{np}(t)dt = W_0 + Q^0_{np}\left[\int_{t_0}^{t}(1 - \exp(-\lambda t)dt\right] = \\ &= W_0 + Q^0_{np}\left[t - t_0 + \frac{1}{\lambda}\left[1 - \exp(-\lambda t) - \exp(-\lambda t)\right]\right] \end{aligned} \quad (3.4.2.13)$$

Изменение концентрации бактерий в водопроводной системе определяется из равенства

$$c(t) = \frac{W_0 c_0 + c_{np}\int_{t_0}^{t} Q_{np}(t)dt}{W_0 + \int_{t_0}^{t} Q_{np}(t)dt} = \frac{W_0 c_0 + Q^0_{np}\left[t - t_0 + \frac{1}{\lambda}\left[\exp(-\lambda t) - \exp(-\lambda t_0)\right]\right]c_{np}}{W_0 + Q^0_{np}\left[t - t_0 + \frac{1}{\lambda}\left[\exp(-\lambda t) + \exp(-\lambda t_0)\right]\right]} \quad (3.4.2.14)$$

С момента времени t с началом подачи свежей воды за счет механического перемешивания концентрация бактерий в водоводе начинает уменьшаться, а в момент $t = t^*$ достигается величина предельно допустимой концентрации (ПДК) c^*, для которой удовлетворяется неравенство $c_{np} < c^* < c_0$. Здесь c_{np} – концентрация бактерий свежей подаваемой воды, c_0- концентрация бактерий в водоводе в момент начала подачи свежей воды.

В соответствии с поставленной задачей возникает необходимость время регулирования t^* подачи свежей воды до достижения концентрации бактерий в водоводе до величины ПДК - c^*, для чего зависимость (3.4.2.14) переписываем в виде:

$$c^* = c(t^*) = \frac{W_0 c_0 + Q_{np}^0 \left[t^* - t_0 + \frac{1}{\lambda} \left[\exp(\lambda t) - \exp(-\lambda t_0) \right] c_{np} \right]}{W_0 + Q_{np}^0 \left[t^* - t_0 + \frac{1}{\lambda} \left[\exp(\lambda t) + \exp(-\lambda t_0) \right] \right]} \quad (3.4.2.15)$$

Откуда получим нелинейные уравнения в виде:

$$t^* - t_0 + \frac{1}{\lambda} \exp(-\lambda t_0) \left[\exp\left[-\lambda (t^* - t_0) - 1 \right] \right] = \frac{W_0}{Q_{np}^0} \cdot \frac{c^* - c_{np}}{c_0 - c^*} \quad (3.4.2.16)$$

если безразмерные параметры $\lambda t_0 < \lambda t_0 < 1$, то разлагая в ряд (4.3.20) получим уравнение:

$$\mathrm{t^* - t_0 + \frac{1}{\lambda} \left[1 - \lambda \frac{t^* - t_0}{1} + \frac{\lambda^2 (t^* - t_0)^2}{2} - \frac{\lambda^3 (t^* - t_0)^3}{6} + \ldots - 1 \right] exp(\lambda t_0) =}$$
$$= \frac{W_0}{Q_{np}^0} \cdot \frac{c^* - c_{np}}{c_0 - c^*} \quad (3.4.2.17)$$

или

$$\frac{\lambda\ (t^* - t_0)^2}{2} - \frac{\lambda^2 (t^* - t_0)^3}{6} = \frac{W_0}{Q_{np}^0} \cdot \frac{c^* - c_{np}}{c_0 - c^*} \quad (3.4.2.18)$$

Пренебрегая последним слагаемым, получим:

$$t^* = t_0 + \sqrt{\frac{W_0^2}{Q_{np}^0 \lambda^2} \cdot \frac{c^* - c_{np}}{c_0 - c^*}} \quad (3.4.2.19)$$

Для определения времени достижения ПДК - t^* в водоводе с длиною *x (t)* при $Q_{np}(t) = \frac{\pi d^2}{4} \cdot V(t)$, где скорость распространения свежей воды по длине водовода - $\frac{dx}{dt} = V(t)$, используем выражение для траектории движения струи потока свежей воды:

$$x(t) = \frac{Q_{np}^0 4}{\pi d_{вх}^2} \left[\int_{t_0}^{t} \left[1 - \exp(-\lambda t) \right] dt \right] \quad (3.4.2.20)$$

где $d_{вх}$ - диаметр выходного сечения регулятора, с помощью, которой регулируется приток воды в водовод.

Вычисляя в (3.4.2.20) интеграл получим:

$$x(t) = \frac{4 Q_{np}^0}{\pi d_{вх}^2} \left\{ t - t_0 + \frac{1}{\lambda} \left[\exp(-\lambda t) - \exp(-\lambda t_0) \right] \right\} \quad (3.4.2.21)$$

Принимая $t = t_0$, $x(t_0) = 0, t = t^*$, $x(t^*) = L$

L -длина водопроводной трубы, в которой концентрация бактерий достигает ПДК.

Тогда получим уравнение для определения времени t^*:

$$t^* - t_0 + \frac{1}{\lambda}\left[exp(-\lambda t^*) - exp(-\lambda t_0)\right] = \frac{\pi L d_{вх}^2}{4Q_{пр}^0} \qquad (3.4.2.22)$$

где D - диаметр водовода $W_0 = \frac{\pi D^2 L}{4}$

Зависимость (3.4.2.22) переписываем в виде:

$$t^* - t_0 + \frac{1}{\lambda}\left[-\lambda(t^* - t_0) + \frac{\lambda^2}{2}(t^{*2} - t_0^2) - \frac{(t^{*3} - t_0^3)}{6}\lambda^3\right] = \frac{d_{вх}^2}{D^2} \cdot \frac{W_0}{Q_{пр}^0} \qquad (3.4.2.23)$$

Считая $\lambda(t - t_0)$ малыми слагаемыми кубической степени считаем малым из (3.4.2.23) получим:

$$\frac{\lambda}{2}(t^{*2} - t_0^2) == \frac{d_{вх}^2}{D^2} \cdot \frac{W_0}{Q_{пр}^0} \qquad (3.4.2.24)$$

Решением уравнения (3.4.2.24) будет:

$$t^* = t_0 + \sqrt{\frac{W_0}{Q_{пр}^0 \lambda} \cdot \frac{d_{вх}^2}{D^2}} = t_0 + \frac{W_0}{Q_{пр}^0}\frac{d_{вх}^2}{D^2} \qquad (3.4.2.25)$$

При необходимости учета кубическим слагаемым надо решить кубическое уравнение по формуле Кардана.

Выводы по главе 3

1. На основе теории диффузионного перемешивания жидкости получены гидравлические закономерности, описывающие изменения осредненного по живому сечению потока концентрации бактерий, изменения давления воды с учетом изменения гидравлического сопротивления на трения.

2. На основе балансовых уравнений получены гидравлические зависимости для установления концентрации бактерий по объему, изменения давления воды при остановке подачи и начало функционирования насосной станции, для создания необходимого напора в системе питьевого водоснабжения.

3. Полученные гидравлические закономерности способствовали создание закономерностей для установления надежностных характеристик систем водоснабжения, а также безопасного состояния питьевой воды, подчиняющей различным законом регулирования подачи воды.

ГЛАВА 4 НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

4.1 Натурные исследования подземных источников питьевого водоснабжения

Формирование региональных подземных вод этого месторождения происходит, в основном, за счет фильтрационных потерь из рек бассейна река Кашкадарьи, а также ирригационных каналов и с полей орошения. Региональные ресурсы подземных вод месторождения составляют 919,3 тыс. $м^3$/сут (10,64 $м^3$/с). Эксплуатационные запасы по всем категориям составляют 760,3 тыс. $м^3$/сут (таблица 4.1).

Таблица 4.1 Эксплуатационные запасы Китабо-Шахрисабзского месторождения (Данные Института ГИДРОИНГЕО)

Кате-я экс-ных запасов	**Участок месторождения подземных вод водозаборы**	**Утвержденные эксплуатационные запасы в тыс.$м^3$/сут, л/с**	**В том числе по категориям**		**Фактический отбор ПВ за 2017г. тыс.$м^3$/сут л/с**
			А	**В**	
А+В	1. Китаб ВУ-2, ВУ-3	259,20 / 3000	119,4 / 1382	139,80 / 1618	114,3 / 1323
	2. Яккабаг ВУ-1	129,6 / 1500	74,8 / 866	54,8 / 634	42,10 / 480,3
	3. Междуречье Акдарья-Кашкадарья ВУ-4	43,20 / 500	22,60 / 262	20,60 / 238	15,7 / 182
	Итого	**432 / 5000**	**216,8 / 2510**	**215,2 / 2490**	**172,1 / 1985,3**

Всего в пределах этого месторождения эксплуатируется 10 крупных централизованных водозаборов (ВУ-1, 2, 3, 4, в городах Китаб, Шахрисабз, Яккабаг, Чиракчи водозабор (ВУ-МГПЗ «Мубарекгаз», ВУ-«Оби-Хаёт»), а также небольшие (Консервный завод) и одиночные водозаборы. Запасы утверждены для целей хояйственно-питьевого водоснабжения городов: Китаб, Шахрисабз, Чиракчи, Гузар, Камаши, Карши, Мубарек, Касан, газопромыслов «Шуртан», «Мубарек» и МГПЗ «Мубарек».

Подземные воды Китабо-Шахрисабзского месторождения в качественном отношении по органолептическим, токсикологическим показателям, по содержанию вредных компонентов, как в сезонном, так и в многолетнем разрезе довольно стабильны и в основном отвечают требованиям OzDSt 950-2000 «Ичимлик суви». Исключением является низкое содержание фтора (0,12-0,27 мг/л и меньше, при норме 0,7). Общая жесткость, кроме воды на водозаборе ВУ-1 (9,0-12,0 мг-экв/л) и содержании нитратов - ниже ПДК.

На территории месторождения имеется 21 наблюдательный пункт (43 скважины) опорной региональной сети Госмониторинга подземных вод с длительностью наблюдений 30-40 лет. Режим уровня подземных вод в многолетнем разрезе прямо зависит от водности года (Рис.4.1; 4.2, 4.3).

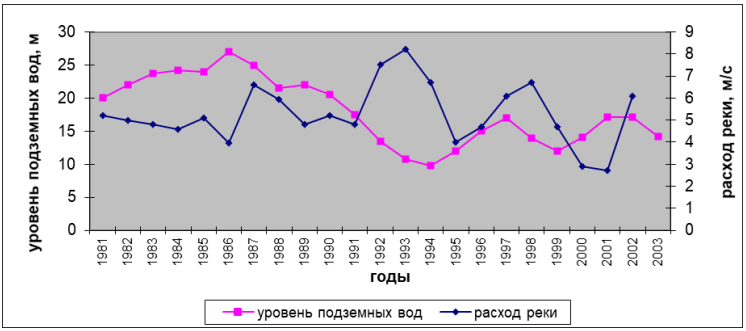


Рисунок 4.1 График среднегодовых уровней подземных вод на линии ВУ-1 и расходов реки Яккабагдарья

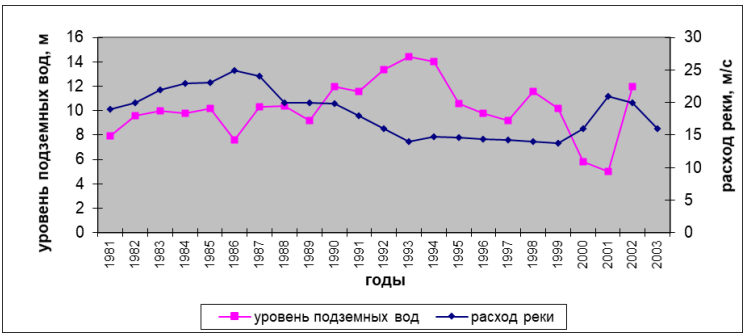


Рисунок 4.2 График среднегодовых уровней подземных вод на линии ВУ-2 и расходов реки Акдарья

Анализ графиков (рис.4.1, 4.2, 4.3) изменения колебаний уровня воды в скважинах и расходов воды рек на гидропостах показывает, что колебания значений уровня подземных вод и расхода поверхностного источника происходят около их средних значений. Вместе с тем в отдельные годы наблюдаются и скачки гидрографа расходов воды рек.

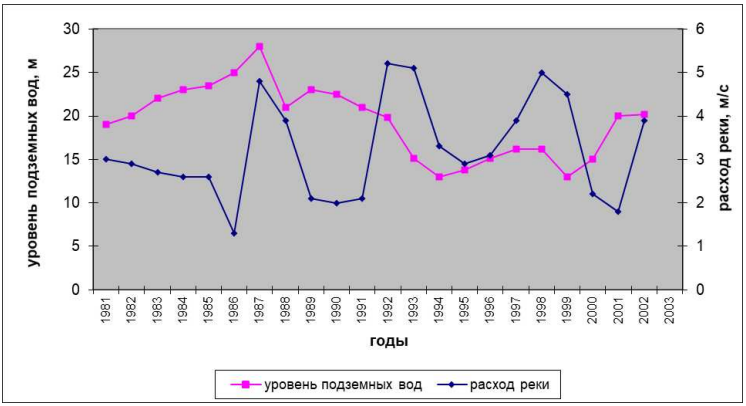


Рисунок 4.3 График среднегодовых уровней подземных вод на линии ВУ-3 и расходов реки Танхаздарья

С учетом особенностей колебаний уровня подземных вод и расхода воды рек получена следующая закономерность:

$$h = h^* \cos\{\frac{T_1}{T_2}\arccos[\frac{Q}{Q^*} + \frac{\partial Q}{Q^*}\delta(Q - Q^*)]\}, \quad (4.1.1)$$

При $Q \neq Q^* \cdot \delta(t) = 0$

$$h = h^* \cos\{\frac{T_1}{T_2}\arccos\frac{Q}{Q^*}\}, \quad (4.1.2)$$

При $Q=Q^* \delta(0) = 1$

$$h = h^* \cos\{\frac{T_1}{T_2}\arccos[\frac{Q}{Q^*} + \frac{\partial Q}{Q^*}]\}, \quad (4.1.3)$$

В формулах:

$\partial(Q) = Q^* - Q_0$ - отклонение расхода от среднего значения среднегодового расхода воды.

Q - расход воды рек;

h - глубина залегания горизонта воды в скважине;

h^* - максимальное значение горизонта воды в скважине;

T_1 - период колебаний значения среднегодового расхода воды - Q рек, для рек рассматриваемого участка, T_1=3года;

T_2 - период колебаний среднегодового горизонта подземных вод – h для скважин ВУ-1, ВУ-2 и ВУ-3, T_2=3,5 года;

Q_0 - среднее значение среднегодового расхода воды рек;

Q^* - увеличение расхода за счет приращения в момент скачка гидрографа реки;

$\delta(Q - Q^*)$ - функция Хевисайда.

Сезонные колебания уровня подземных вод на участках за пределами влияния водозаборов связаны с гидрологическим режимом рек и орошения сельскохозяйственного поля. Нарастание объемов стока с апреля-мая с максимумом в июле вызывает подъем уровня подземных вод; спад расходов поверхностных вод - ведет за собой снижение уровня подземных вод. Наибольшие амплитуды колебаний уровня отмечены в области питания. Минерализация подземных вод на участке водозаборов (ВУ-1, 2, 3, 4) изменяется в широких пределах. В Междуречье Кашкадарьи и Акдарьи (ВУ-4), на площади слившихся конусов Акдарьи и Танхаздарьи (ВУ-2, 3) распространены воды с минерализацией 0,250-0,350 г/л. Вниз по потоку минерализация постепенно увеличивается до 0,4-0,6 г/л. По химическому составу воды гидрокарбонатные кальциевые и гидрокарбонатные кальциево-магниевые. Общая жесткость подземных вод не превышает 4-5 мг-экв/л. На конусе выноса Яккабагдарьи (ВУ-1) минерализация подземных увеличивается до 0,7-0,8 г/л, по химическому составу преимущественным распространением пользуются сульфатные кальциево-магниевые (или натриевые) воды. Общая жесткость воды достигает 9-11,7 мг-экв/л.

Граница между водами с минерализацией до 0,5 г/л (жесткостью до 7-мг-экв/л) и 0,5-1,0 г/л (и жесткостью более 7 мг-экв/л) проходит несколько южнее реки Танхаздарьи. В этой части площади развиты воды смешанного химического состава: сульфатно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые (магниевые).

Формирование различных по минерализации и химическому составу подземных вод на площади водозаборов определяется особенностями условий их питания. На севере и северо-востоке месторождения в питании подземных вод принимают участие пресные, мягкие гидрокарбонатно-кальциевые воды рек Кашкадарьи, Акдарьи и Танхаздарьи, и таким же качеством обладают подземные воды, стекающие сюда со стороны Каратюбинских гор.

В нижней половине площади (водозабор ВУ-1), воды поступают со стороны отрогов Гиссарского хребта, сложенных толщей загипсованных пород мезокайнозоя. При выщелачивании их, воды обогащаются сульфатами магния, что и обуславливает повышение

минерализации, жесткости и характерный химический тип подземных вод. В многолетнем разрезе, по данным режимных наблюдений, ведущих с 1963г., качество подземных вод не ухудшается, и они по своим физическим свойствам, и органолептическим показателям пригодны для питьевого использования (табл.П.3.1, приложение 3).

В рамках настоящей работе 2000-2017 гг. была выполнена научно-исследовательская работа «Разработка путей усовершенствования конструкций и режима работы действующих водозаборов на основании данных их эксплуатации». В работе для иллюстрации методических приемов исследований был взят анализ работы водозаборных сооружений на 3-х водозаборных участках. Здесь мы остановимся на одном из них - «Китабском» участке Китабо-Шахрисабзского месторождения (ВУ-2). Работа заключалась в сопоставлении результатов гидрогеологических прогнозов, выполненных на стадии разведки месторождения, с данными эксплуатации водозабора; в определении зависимости величины понижения уровня в эксплуатируемой скважине и на прилегающей к ней площади от дебита этой скважины [$S=f(Q)$ и $S = f(Q, r)$], где r – расстояние от эксплуатационной скважины. Приведенная зависимость просчитывалась по данным экспериментальных полевых исследований, в процессе которых опытные откачки были выполнены при трех значениях расхода воды. Так, на данном участке в течение 32 дней выполнено опытно-фильтрационное опробование ярусного куста из 3 скважин (1 ц, 2 ц, 3 ц) глубиной 110, 125 и 150 м соответственно в различных комбинациях при разных расходах. В самой глубокой (150 м) скважине (3 ц) при равном отборе из каждой из 3 скважин, величина понижения оказалась практически в 3 раза больше. В скважинах 1ц и 2 ц получены близкие значения понижения (6-8 м), а в скважине 3 ц - ~ 20м. Понижение уровня в каждой эксплуатационной скважине водозабора определяется уравнением

$$S = S_c + \Sigma S_i \qquad (4.1.4)$$

Для Китабского участка эта зависимость преобразована в:

$$S_{собст.} = E \cdot Q^D \qquad (4.1.5)$$

Таблица 4.2 Величина понижения уровня воды в скважинах

№	Номера скважин	Величина понижения, м		Разница в понижении, м
		при I варианте	при II варианте	Δ S i
1	2а	15.27	14.13	1.14
2	2	15,95	14,82	1,13
3	1П (к)	17,12	22,08	-4,96
4	2П (к)	17,11	17,42	2,39
5	3б	15,99	14,99	1,00
6	3а	16,55	15,50	1,05
7	3	17,03	15,54	1,49
8	4а	12,24 (не работала)	16,14	-
9	4	16,44	15,16	1,28
10	3П(к)	18,92	22,38	-3,46
11	4П(к)	18,98	15,08	3,90
12	5а	17,52	15,13	2,39
13	5П(к)	18,09	23,15	-5,06
14	6П(к)	18,10	14,34	3,76
15	6	15,2	15,23	-0,03
16	6а	16,33	16,24	0,09
17	7а	15,20	15,23	-0,03
18	6н	15,03	10,88 (не работала)	-
19	8	14,75	14,44	0,31
20	8а	9,84 (не работала)	13,96	-
21	9	13,69	13,39	0,30
22	9а	11,61	10,98	0,63
23	7П (к)	14,75	12,04	2,71
24	8П (к)	14,75	5,19	9,56
25	10	5,74 (не работала)	10,25	-

В любой точке на участке расположения эксплуатационной скважины понижения уровня подчиняется следующей зависимости:

$$S_i = Q \cdot B \cdot (ln\ (1+A/r)+C) \qquad (4.1.6)$$

где, *A, B, C* – коэффициенты значения которых выведены математическим методом наименьших квадратов с помощью пакета прикладных программ «MicrosoftExcel» (таблица П.2.1, приложение 2).

В этой формуле (4.1.6) коэффициент *C* определяет радиус влияния возмущения. Вычисленные по формуле 2 значения $S_{соб.}$ сравнивались с фактическими. Мерой близости множества расчетных и фактических значений выступала остаточная сумма квадратов разностей *D* (так называемый метод наименьших квадратов) $D = \Sigma\ (S_{факт.i} - S_{расч.,\ i})^2$.

Для Китабского участка при обосновании возможности интенсификации отбора в пределах существующих контуров водозабора ВУ-2 были рассмотрены 2 варианта. В первом обосновывалась возможность увеличения отбора воды за счет бурения рядом с существующей скважиной ещё одной с расположением фильтра «внахлёст» (с существующей) при общей глубине её до 125 м; во втором - бурение скважины на равном удалении от существующих (между ними).

Сравнительная эффективность работы предложенных в двух вариантах систем водозабора была определена зависимость понижения уровня от компактности водозаборов при различных расходах воды эксплуатационных скважин. С помощью ЭВМ оба эти варианта были просчитаны при равном отборе из всего водозабора (184 тыс. м^3/сут - потребность в воде и из каждой скважины (4320 м^3/сут) и дополнительном бурении 8 скважин спаренных или одиночных. Были получены следующие прогнозные результаты. Из таблицы 4.2 и 4.4 следует, что величина понижения уровня в проектных скважинах (1п-8п) при расположении их в составе куста (вариант 1) и как одиночных между одиночными скважинами (вариант 2) существенно не разнится и разница её составит не более 5 м.

В настоящее время на водозаборном участке ВУ-2 пробурены и эксплуатируются, наряду с одиночными, три ярусных куста по 3 скважины (28-30; 7 б, в, г; 14 а, б, в). Фактическая величина понижения в этих скважинах при общем отборе, равном заявленной потребности (184 тыс. м^3/сут) практически совпадает с расчетными, выполненными в 2000-2004 гг.

Опыт показал, что полученные зависимости (уравнения 4.1.6) остаются достоверными при увеличении производительности водозабора в рамках существующей площади со 149 тыс. м^3/сут (2003г) до 184 тыс. м^3/сут (2015 г).

4.2 Натурные исследования по установление энергетических характеристик систем водоподъема на водозаборных узлах

Для установления энергетических характеристик насосных агрегатов водозаборных узлов произведены обследование состояния функционирования 87 скважин. Основная часть скважин эксплуатируются более чем 30 лет, результаты обследования показывают, что производительность насосных агрегатов при увеличении потребления электроэнергии существенно снизились. Если в процессе проектирования 87 скважин, их проектная мощность при расходе электроэнергии 60,6 тыс. кВт/сут было равна 224,0 тыс. м^3/сут, то в момент обследования для получения суммарной производительности этих скважин равной 165 тыс. м^3/сут, расход электроэнергии составил 62,6 тыс. квт/сут. Результаты обследования 87 скважин показали, что суммарная производительность вертикальных скважин водозаборных узлов уменьшились на 59 тыс. м^3/сут или 26,3 %, при этом расходы электроэнергии увеличились 2 тыс. квт/сут или 3,3 %. Для установления причин снижения мощности скважин и увеличения расхода потребляемой электроэнергии проведены специальные исследования по установлению производительности всех скважин по отдельности скважин отдельности. Учитывая условие, что во всех скважинах отсутствуют расходомеры воды, то для измерения производительности скважин применялся портативный тарированный ультразвуковой расходомер.

Согласно методике эксперимента на всех работающих скважинах измерялся расход воды и в интервале пяти минут определялся *min* и *max* значения расхода в скважине. Измерения расхода воды в скважинах с ультразвуковым прибором показали следующие результаты:

- на ВУ-1 в среднем дебет одной скважины равен - 50 л/с. Но по результатам измерения, средний арифметический показатель расхода каждой скважины составляла 22,5 л/с;
- на ВУ-2 в среднем дебет одной скважины равен - 70 л/с. Но по результатам измерения, средний арифметический показатель расхода каждой скважины составляла 24,9 л/с;
- на ВУ-3 в среднем дебет одной скважины равен - 65 л/с. Но по результатам измерения, средний арифметический показатель расхода каждой скважины составляла 20,9 л/с;
- на ВУ-4 в среднем дебет одной скважины равен - 50 л/с. Но по результатам измерения, средний арифметический показатель расхода каждой скважины составляла 17,8 л/с.

Результаты измерения производительности скважин обусловили необходимость исследования состояния самих скважин, с использованием современных диагностических оборудований системы *CCTV* (система теледиагностики). Из исследуемых скважин водоподъемная труба была извлечена, а затем производилась теле-диагностика скважину (Рис.4.6). Теле-робот всю информацию о состояния скважин передавал в монитор портативного прибора, они в свою очередь фиксировали все дефекты, обнаруженные во внутренней части скважин (рис.4.5). Анализ результатов съемки теле-робота выявили следующие негативные факторы внутри скважин, который являются, по нашему мнению, основными причинами снижения производительности скважин и увеличения потребления электрической энергии.

Научно обоснованная оценка результатов эксперимента показала, что причинами неполного использования мощности существующих водозаборов являются:

- Выход из строя ряда скважин в связи с изменением гидрогеологических условий;
- Понижением эксплуатационных горизонтов воды большинства насосные агрегаты работают в холостую, расходуя электроэнергию;
- Отсутствие приборов измерения расхода воды на каждой скважине, позволяющих судить об эффективности их работы.
- Из-за обильного выноса песка, образовалась пустота в при фильтровой зоне скважины и как следствие резкое падение расхода скважин.

Рисунок 4.4 Вид поверхности скважины 25 ВУ-1

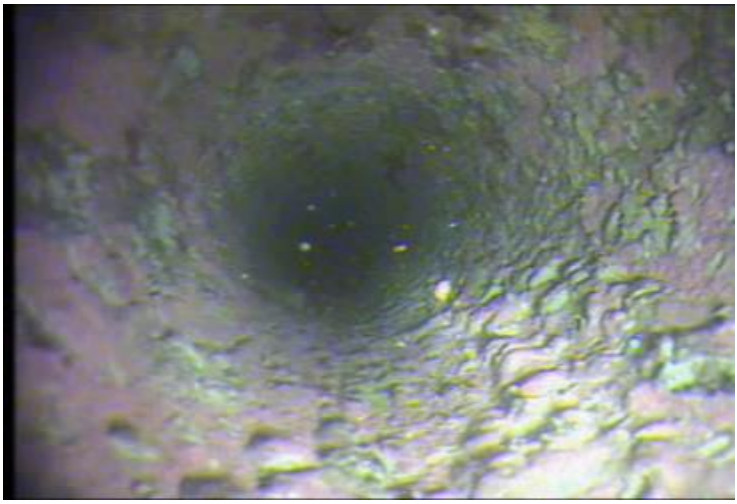


Рисунок 4.5 Состояние внутренней части водоподъемной трубы

- Отсутствие приборов измерения расхода воды на каждой скважине, позволяющих судить об эффективности их работы.

Проведенные теле-диагностические исследования позволили составить мероприятия по устранению выявленных негативных моментов, в частности:

- Извлечение упущенного насоса или ликвидация затора для скважин 15, 18 (ВУ-1), 6, 7б, 7в, 7г, 13, 28, 29 (ВУ-2), 2а, 6а, 9, 11 (ВУ-3), 10а, 11, 11а (ВУ-4);
- Чистка стенок скважины ершом до забоя от органического обрастания с использованием бурового станка роторного бурения:
- Чистка забоя скважины от песка методом роторного бурения с промывкой глинистым раствором низкой вязкости для обеспечения выноса шлама (для скважин, где предусмотрено извлечение насоса или ликвидация затора);
- Прокачка скважин двумя компрессорами до полного осветления откачиваемой воды (не мене суток), Прокачку скважины следует производить из нижнего и верхнего интервалов рабочей части фильтров;
- Демонтаж эрлифтной установки и монтаж насоса для проведения опытной откачки. Опытная откачка производится с проектными расходами в течение суток после установления постоянного динамического уровня при заданном дебите.

4.3 Натурные исследования состояния напорных водоводов системы питьевого водоснабжения г. Карши

В связи с отсутствием в насосной станции III-подъёма специальных фильтров и отстойников в трубопроводах города образовались в больших количествах донные наносы и отложений. Для изучения данных явления в рамках научного исследования, в действующих трубопроводах проведена теле-диагностика с применением многофункционального теле-робота (рис. 4.6 и 4.7). Инспекция трубопроводов осуществляется цветной телекамерой с высокой разрешающей способностью, которая позволяет дать богатую информацию о состоянии сети. Телекамера способна обнаружить даже небольшие трещины и течи, засоры и посторонние предметы, определить точное местоположение и характер дефекта, состояние трубопровода вокруг дефекта. Видеосъемка может производиться круглосуточно и независимо от погодных условий.

Рисунок 4.6 Установка для телediагностики труб системы питьевого водоснабжения

Рисунок 4.7 Робот-манипулятор для исследования внутренней части труб питьевого водоснабжения

На рис. 4.8 схема системы питьевого водоснабжения г. Карши, где проводились натурные исследования внутренней части труб. А на рис.4.6 установка для телediагностики труб системы питьевого водоснабжения и на рис.4.7 робот-манипулятор для исследования внутренней части труб питьевого водоснабжения.

На рис. 4.8 кружочками обозначены места, откуда спускался робот-манипулятор во внутреннюю часть трубы. Схема водопроводной сети, в которых были проведены натурные исследование по оценке состояния внутренней части напорных труб. Видео съемки теле-роботами из системы CCTV впервые были осуществлены в условиях республике. Теле-роботы представляют собой перемещающиеся внутри трубопровода транспортные модули на колесном, гусеничном ходу, салазках или плавающие на которых могут располагаться кроме телекамер ремонтные головки (например, заделочная или бандажная).

Управляются телероботы по кабелю длиной до 150 м. Аппаратура управления и пост оператора находятся в специальном микроавтобусе. Здесь же располагаются кабельный барабан, подъемники, устройства очистки и связи, генератор, бортовой компьютер, видеосистема и прочее оборудование. Теле-робот полностью герметичен и способен работать в частично заполненных водой трубопроводах, что дает ему преимущества перед другими средствами диагностики.

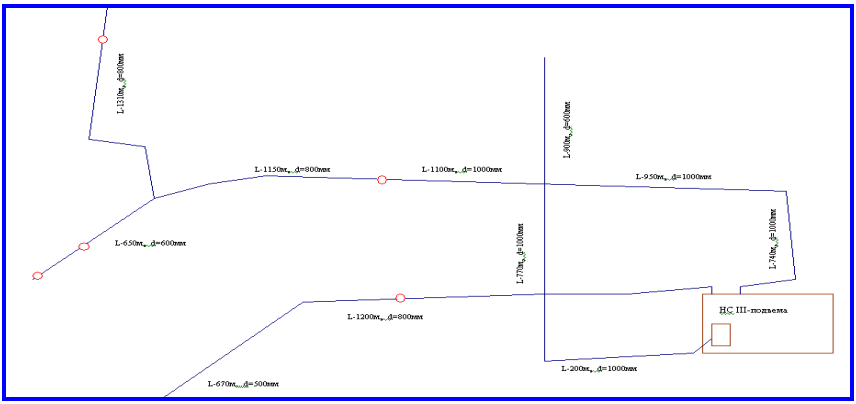


Рисунок 4.8 Схема системы питьевого водоснабжения г. Карши, где проводились натурные исследование внутренней части труб.

Технология съемки заключается в следующем. Оператор управляет видеосъемкой из студии, размещенной в автомобиле. На монитор выводится четкое и ясное изображение внутренней поверхности трубы. По кромке изображения высвечивается и фиксируется информация о заказчике, а также данные о месте проведения работ и виде трубопроводов. В нижней части кадра записываются время съемок и ход камеры (расстояние от исходной точки движения). В местах обнаружения повреждений (дефектов) внутренней поверхности оператор останавливает камеру и подробно осматривает место путем поворота объектива, комментарий оператора вместе с изображением должен записываться на видеопленку. Обнаруженные в результате телеинспекции дефекты могут быть сгруппированы, в основном в две категории: структурные (микротрещины, вызывающие локальную фильтрацию и инфильтрацию, продольные и круговые трещины, нарушение стыковых соединений в результате старения труб и т.д.) и функциональные (деформации, образование ржавчины, биообрастаний и наносов на внутренней поверхности труб, проникновение корней деревьев внутрь трубопроводов, преждевременное разрушение материала труб и защитных оболочек из-за агрессивного воздействия грунтов и т.д.). Фрагменты из полученных результатов приведены в приложение 1в рисунках П.1.1 – П.1.27

На рис. П1.1-П.1.2 Приложение 1 показаны внутренняя часть трубопровода водовода от насосной станции Пахтазор до ул. Ханабадский, а на графики изображен рельеф формировавшегося донного отложения. Водопровод построен в 1976 году, диаметр трубы 315 мм общая протяженность 245 п/м. Теле-диагностика проведена на участке водовода протяженностью 199,04 п/м.

На рис. П.1.3- П.1.11 Приложение 1 водовод по ул. Насаф и на рис. П1.24-П1.27 Приложение 1между улицами Мустакиллик-Шибаев.

Общая протяженность водовода 1290 п/м, диаметр 800 мм, материал трубы стал, теле-диагностика проводилась на участке 135,13 п/м. Водовод проложен в 1976 году. Эксперименты проводились 14.01.07 году. Показаны фрагменты из видео съемки по 1-17;2-23;3-29 сечениям.

В рисунках П1.1-П1.27 (приложение 1) показаны из-за донных отложений изменения рельефа стальных трубопроводов и сети после многолетней эксплуатации, а также дефекты и повреждение трубопроводов.

Анализ результатов показывают, что под воздействия искусственных и естественных факторов количество аварий на водоводах и сетях за последние 5 лет составило более 7000 шт. В связи с аварийным состоянием трубопроводов и частыми авариями на них утечки в сетях составляют до 40% от общей подачи воды в город. А также формировавшегося новый рельеф дна водовода являются источниками вредных бактерий (таблица 4.2) и при этом имеет место, изменение гидравлических параметров потока, то есть появления новых гидравлических потери.

4.4 Экспериментальные исследования по определению гидравлического сопротивления труб питьевого водоснабжения

Несмотря на наличия достаточного потенциала системы питьевого водоснабжения населенных пунктов и городов, имеются существенные проблемы, в частности, люди лишены возможностей бесперебойно получать воду в достаточном количестве.

Анализ работы системы водоснабжения г. Карши показал, при возможности потенциала системы централизованного водоснабжения обеспечить каждого жителя питьевой водой в сутки в объеме 167 л, при этом утечка воды при транспортировке составляют более 32%. Для установления состояние системы транспортировки воды влияния донных отложений на гидравлический режим движения воды проведены натурные эксперименты. Экспериментами установлено фактическое значение гидравлического сопротивления на трение на участке длиною трубы 300 м системы централизованного водоснабжения г. Карши (Рис. 4.9).

Для определения потери напора на данном участке магистрального водовода на начальном и конечном участке трубы установлены манометры. Измерение расхода воды на этом участке трубопровода производились ультразвуковым расходомером.

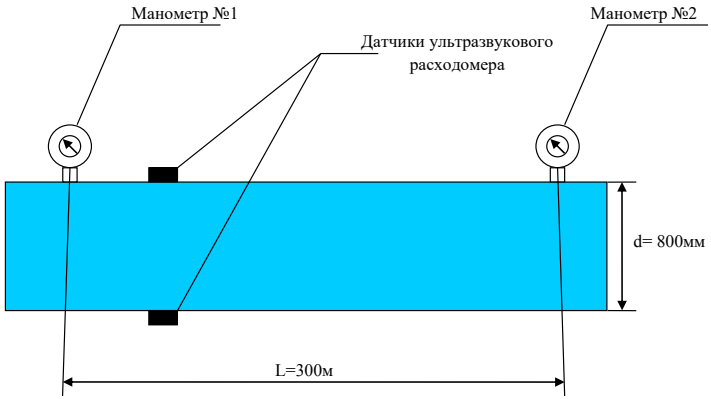


Рисунок 4.9 Схематический план проведения экспериментальных исследований по определению гидравлического сопротивления действующего водовода

В результате проведения натурных опытов установлены:

Длина трубы l= 300 м; диаметр трубы d= 800 мм; расход воды Q=0,385 м^3/с; давление воды в начале трубы= 2,21 кГ/см^2; давление воды в конце трубы= 1.93 кГ/см^2; потери давления на этом участке h_l =0,28 кГ/см^2 или 2,8 м. водяного столба; средняя скорость потока воды в трубе $V= Q/ 0{,}785\ d^2$ =0,766 м/с

Проектное значение коэффициента гидравлического трения λ_p новой стальной трубы определяли как [12]:

$$\lambda_p = \frac{0{,}0159}{d_p^{0{,}226}}\left(1+\frac{0{,}684}{V}\right)^{0{,}226} = 0{,}01931 \qquad (4.4.1)$$

Для установления фактического значения величины коэффициента гидравлического трения λ_ϕ на экспериментальном участке использована формула Дарси-Вейсбаха

$$\lambda_\phi = \frac{d2gh_l}{lV^2} = \frac{2\cdot 0{,}8\cdot 9{,}81\cdot 2{,}8}{300\cdot 0{,}766^2} = 0{,}2496 \qquad (4.4.2)$$

Как видно из приведенных расчетов, что в результате засорения труб системы централизованного водоснабжения г. Карши произошло увеличение фактической величины гидравлического сопротивления на трение по сравнению с проектной величиной на 12,92 раза.

4.5 Исследование бактериологических показателей воды.

Продукты засорения, развивая процесс коррозии материала труб, создают благоприятные условия для размножения бактерий различного характера в составе питьевой воде.

Таблица 4.5 Результаты бактериологического анализа питьевой воды.

№	Место взятие пробы воды	Основание для взятия пробы воды	Общее число бактерий в 1,0 мг воды	Коли индекс
1	Питьевая вода из крана на входе насосной станции узла подкачки "Пахтазор"	№950-2000	80	23,0
2	Питьевая вода из крана на выходе из насосной станции узла подкачки "Пахтазор"	№950-2000	1000	9
3	Питьевая вода на проспекте Мустакиллик напротив гостиницы Карши из водовода d=1000мм	№950-2000	1000	9
4	Питьевая вода напротив стадиона «Геолог» из водовода d= 800 мм	№950-2000	1000	9

Проведенные совместно со санэпидем службой анализ воды показали, что в момент изменения гидравлического режима в системе питьевого водоснабжения произошли 10кратное увеличение общего числа бактерий и Коли индекса в воде.

Выводы по главе 4

1. Натурные исследование состояние подземных источников водоснабжения Кашкадарьинского вилоята показали, что при наличии достаточного объема воды в подземных источниках питьевого водоснабжения, из-за понижения эксплуатационных горизонтов воды водоподъемные агрегаты допускаются потери энергии.

2. В основном пункте водоподготовки г. Карши - станции III-подъема отсутствуют отстойники для удержания наносов, которые попадают в воду в результате выработку горных пород скважин подземных источников водоснабжения. Это обстоятельство привели засорению резервуаров чистой воды, а затем распространению наносов по всей системе водоснабжения г. Карши.

3. В результате засорения труб системы централизованного водоснабжения г. Карши коэффициент гидравлического сопротивления на трения увеличились по сравнению с проектными значениями более 12 раз, что оказывает существенное негативное влияние на обеспечение питьевой водой населения.

4. Продукты засорения, развивая процесс коррозии материала труб, создают благоприятные условия для размножения бактерий различного характера в составе питьевой воде. Проведенные совместно со санэпидем службой анализ воды показали, что в момент изменения гидравлического режима в системе питьевого водоснабжения происходит и изменение бактериологического режима воды.

5. Для установления количественного состояния и прогноза изменения число бактерий в результате гидродинамических перемешивания далее разрабатывается гидравлическая модель для описания динамики процесса, в которой в системы водоснабжения вместе с водой имеются и бактерий различного характера.

ГЛАВА 5 ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО УСТАНОВЛЕНИЮ ДИНАМИКУ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ БАКТЕРИЙ РАЗЛИЧНОГО ХАРАКТЕРА В СИСТЕМЕ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В результате натурных экспериментов системы питьевого водоснабжения г. Карши установлены: производительность насосной станции третьего подъема - $Q_{пр}(t)$ =0,385 м^3/с; в составе воды на выходе из насосной станции третьего подъема имеются бактерии различного характера, но их число ограничиваются РСТ 950:2000 и принимается равным - $c_{\min}$ =8x10^{7}ед/м^3, тогда объемная концентрация бактерий подаваемой воды равна - $Q_{пр}(t)$ с =0,385 м^3/сх 8x10^7. Подача питьевой воды осуществляется в водовод цилиндрической формы с конечном объемом и имеет радиус R =0,4 м и длину L =300 м. В момент остановки насосной станции $t_0, (t = t_0)$ на рассматриваемом участке водовода находится в воде с объемом $W_0(t_0) = \pi R^2 L$ концентрация бактерией достигает до - c_0 = 10x10^{8}ед/м^3. В этих условиях отсутствует приток воды т.е. $Q_{пр}(t \le t_o) = 0$ (также при $t = t_0$, $Q_{пр}(t_0) = 0$). С началом работы насосной станции или при $t = t_0$ в водовод начинает поступать вода питьевого качество с расходом $Q_{пр}(t)$ =0,385 м^3/с и с концентрацией $c_{пр}$ =8x10^{7}ед/м^3.

1. Численное решение уравнение диффузионного перешивания концентрации бактерий в водоводе системы питьевого водоснабжения.

Для составления компьютерной программы уравнения (3.4.2.14) приводим к следующему виду:

$$c(x,\tau) = \frac{1}{\lambda - \sigma_1}\left\{(c_{пр}M_0 + \lambda - \sigma_1)\exp\left[\frac{\lambda - \sigma_1}{\sqrt{F_r}}\hat{x}\right] - M_0 c_{пр}\right\}e^{-\lambda\tau} \qquad (5.1)$$

Учитывая условия при $t = 0, c(\hat{L},0) = c_0$ получим уравнение для неизвестного коэффициента λ

$$\begin{cases} c(x,\tau) = \dfrac{e^{-\lambda\tau}}{\lambda - \sigma_1}\left\{\left[c_{пр}M_0 + \lambda - \sigma_1\right]\exp\left[\dfrac{\lambda - \sigma_1}{\sqrt{F_r}}\hat{x}\right] - M_0 c_{пр}\right\} \\ c(\hat{L},0) = \dfrac{1}{\lambda - \sigma_1}\left\{\left\{c_{пр}M_0 + \lambda - \sigma_1\right\}\exp\left[\dfrac{\lambda - \sigma_1}{\sqrt{F_r}}\hat{x}\right] - M_0 c_{пр}\right\} = c_0 \\ (c_0 + M_0 c_{пр})(\lambda - \sigma_1) = (c_{пр}M_0 + (\lambda - \sigma_1)\exp\left[\dfrac{\lambda - \sigma_1}{\sqrt{F_r}}\hat{L}\right] \end{cases} \qquad (5.2)$$

Используя параметры системы питьевого водоснабжения г. Карши производим численное решение уравнения (5.1 и 5.2 программа приведена в приложение 4). По результатам расчетов построен график изменения среднего по живому сечению потока концентрации бактерий по длине водовода (рис.5.1)

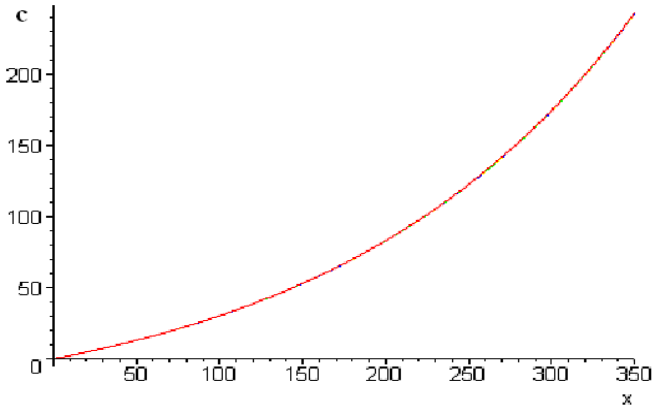


Рисунок 5.1 График функции C=f(x)

2. Установление объемной концентрации бактерий в питьевой воде, пользуясь уравнениями:

$$c(t) = \frac{W^{(s)}(t)}{W(t)} = \frac{W_0 c_0 + \int_{t_0}^{t} Q_{np}(t) c_{np} dt}{W_0 + \int_{t_0}^{t} Q_{np} dt} \tag{5.3}$$

$$P(t) = P_0 + \frac{E_0}{c_{np}} \cdot \frac{\int_{0}^{t} Q_{np}(t) dt}{W_0 + \int_{0}^{t} Q_{np}(t) dt} \tag{5.4}$$

$$Q_{np}(t) = Q^0{}_{np}\left[1 - \exp(-\lambda t)\right] \tag{5.5}$$

составлены программы (приложение 4) и произведены численные эксперименты. По результатам численного эксперимента построены графики зависимости изменения объемной концентрации бактерий и давления в системе питьевого водоснабжения в г. Карши (рис.5.2-5.6).

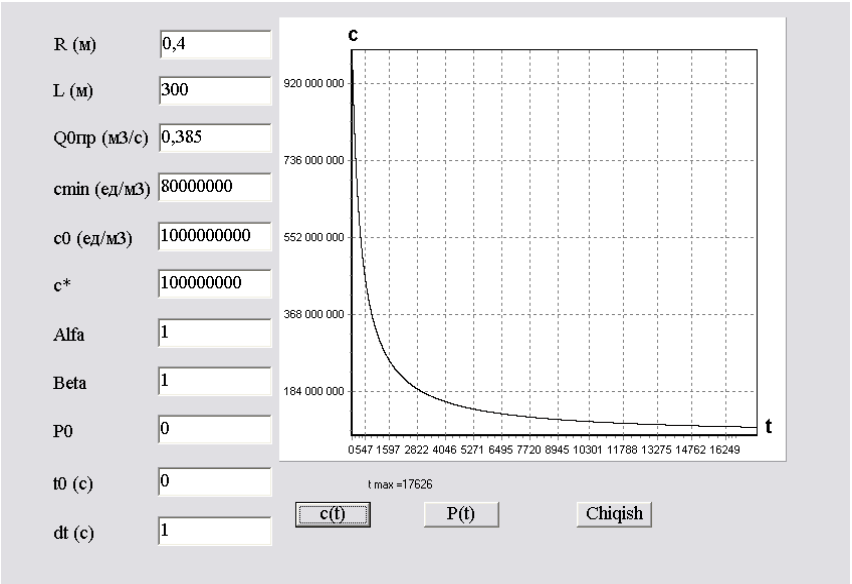


Рисунок 5.2 Результаты численного эксперимента по установлению изменения концентрации бактерий в напорном водоводе

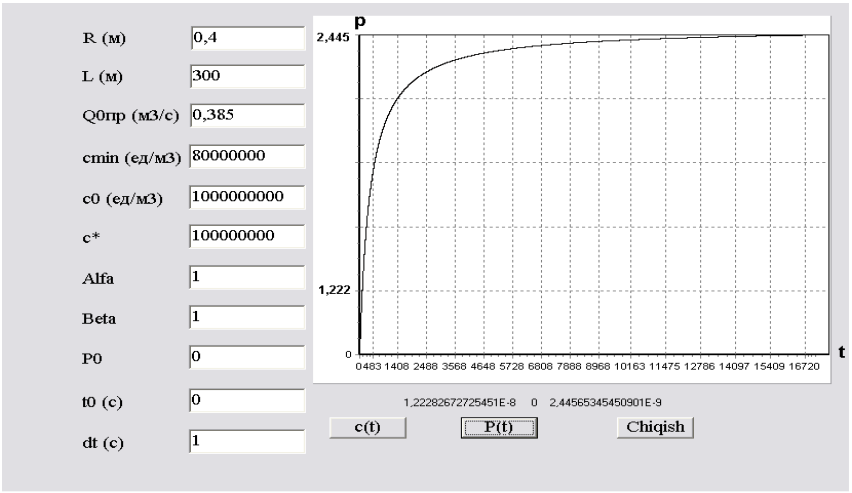


Рисунок 5.3 Результаты численного эксперимента по установлению изменения давления в напорном водоводе в результате восстановления подачи расхода воды

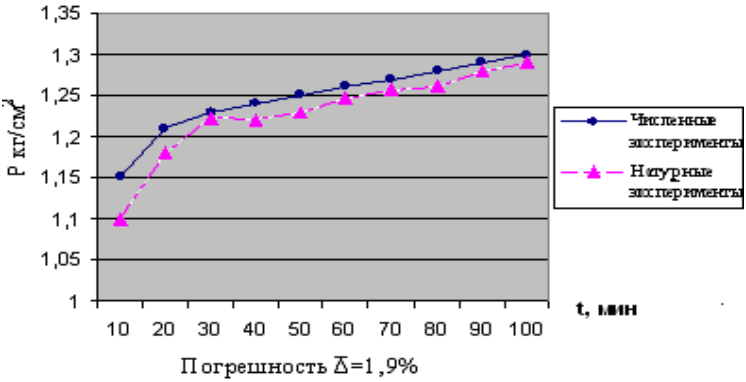


Рисунок 5.4 Изменения концентрации бактерий в напорном водоводе в систему чистой воды

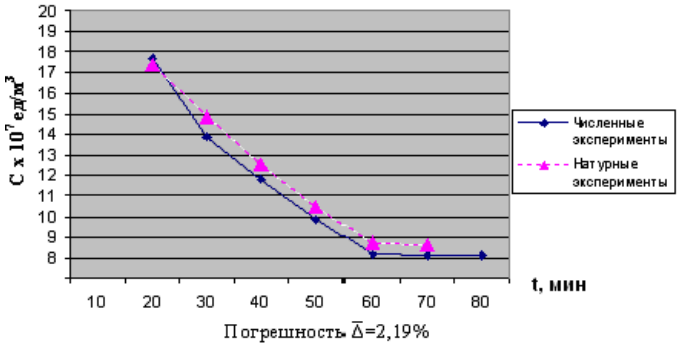


Рисунок 5.5 Изменения концентрации бактерий в напорном водоводе при остановке подачи чистой воды

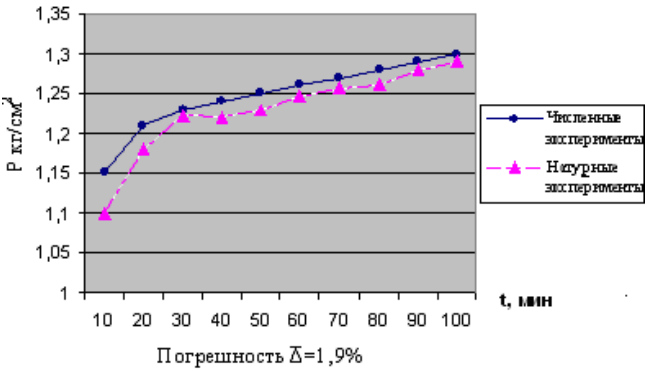


Рисунок 5.6 Изменение давления в водоводе при подаче в систему чистой воды

Была составлена программа и с использованием гидравлических и бактериологических параметров воды системы питьевого водоснабжения г. Карши проведены численные эксперименты. Разработанная программа для решения уравнений (5.1)

и (5.2) на компьютере приведена в приложение №4. Результаты численных экспериментов оформлены в виде графиков (рис.5.2-5.6).

Проведенные численные эксперименты показывают, что изменения концентрации бактерий различного характера в напорном водоводе изменяются в зависимости от изменения параметров подаваемой воды или если подача осуществляется по экспоненциальному закону, то изменения концентрации бактерий также изменяется по такому закону. Изменение давления воды в напорном водоводе также происходит по таким правилам. Расчеты показывают, что при расходе секундного объема $Q_{пр}(t)$ =0,385м^3/с притока свежей воды с концентрацией $c_{пр} = 8 \cdot 10^7 ед/м^3$ в водоводе цилиндрической формы с радиусом трубы R =0.4 м длиною L =300 м и концентрацией бактерии $c_0 = 10 \cdot 10^8 ед/м^3$ допустимая норма $c^* = 8 \cdot 10^7 ед/м^3$ через два часа после притока происходить равномерная концентрация бактерии и можно осуществлять подачи воды с допустимой нормой потребителям. С увеличением расхода притекающей свежей воды время начало подачи уменьшается.

Выводы по главе 5

1. Численными экспериментами установлено, что изменение концентрации бактерий происходит по закону, по которому изменяется подача воды в водовод, при этом с момента начало подачи воды концентрация бактерий уменьшается, а при остановке подачи воды происходит обратное.
2. Изменение давления в водоводе также изменяется по закону, по которому изменяется подача воды.
3. Численные эксперименты показали, что для достижения в водоводе концентрации бактерий, при которой качество воды не будет представлять опасность для здоровья населения, прежде всего нельзя допускать частые остановки подачи воды, если нет такой возможности, то необходимо времени подачи чистой воды принимать больше 3 часа.

ГЛАВА 6 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

6.1 Мероприятия по повышению надежности и безопасности водоснабжения проводимые в источниках водоснабжения

Для повышения надежности водоснабжения и безопасности для потребителей воды в первую очередь были проведены промывка и опытная откачка скважин. Результаты работы на одном из водозаборов подземных источников водоснабжения приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 Результаты опытного опробования эксплуатационных скважин водозаборов ВУ-1

№п/п	№ эксплуатационных скважин	Номер понижения	Расход воды (Q), вл/с	Статический уровень (Нст),	Динамический уровень (Нд),м	Величина понижения (S),м	Удельный дебит (д) л/с/м	Качество ПВ	
								плотный остаток, г/л	общая жесткость
1.	1	III	42.0 29.0	13.10	24.68 21.36	11.58 8.26	3.63 3.51	0.740 -//-	11.30 -//-
2.	5(2)		62.0	12.22	24.60	12.38	5.01	0.800	12.0
3.	14	I II	39,0 26,0	15,05	26,51 22,50	11,46 7,45	3,40 3,49	1,020 -*II*-	12,80 -*II*-
4.	15	I II	40,0 27,0	14,95	26,25 22,78	11,30 7,83	3,54 3,45	-*II*-	-*II*-
5.	24	I II	43,0 30,0	17,15	25,40 22,91	8,25 5,76	5,21 5,21	0,856	11,20
6.	27($11^б$)		35,0	17,65	26,28	8,63	4,06	0,658	9,80
7.	31		35,0	12,70	22,18	9,48	3,69	0,660	9,00
8.	33	I II	40,0 26,0	13,50	18,90 16,97	5,40 3,47	7,41 7,49	0,6 -//-	8,0

В результате промывки и последующей откачки из каждой скважины с помощью CCTV были повторно исследованы состояние скважин из полученного рис.6.1 видно, что данный источник водоснабжения отвечает требованием питьевого водоснабжения

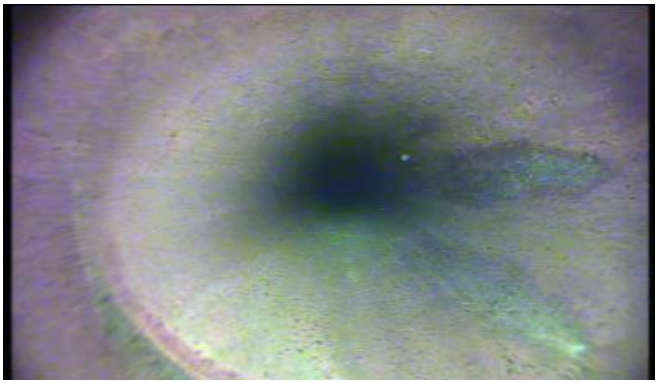


Рисунок 6.1 Состояние водоподъемной трубы после ее очистки

В результате проведенных технологических мероприятий по очистке скважины получены следующие гидрогеологические параметры. Удельные дебиты скважин по данным испытаний изменяются от 7,41 до 3,40 л/с/м. Наиболее выгодную в геолого-гидрогеологическом отношении занимает левый фланг линии водозабора - здесь в 168-метровой толще крупногалечных отложений скважиной 33 встречен только один прослой мелкоземов мощностью 2 м. Наибольшее значение удельного дебита получено именно здесь (скв. 33 – удельный дебит 7,41 л/с.м). Жесткость воды и минерализация здесь также минимальные - 9мг-экв/л и 0,6 г/л (скв. 33 и 31), тогда как на правом фланге минерализация воды возрастает до1 г/л, а жесткость достигает 12,8 мг-экв/л. Максимальный дебит скважин при опробовании получен по скважине 5, расположенной в 300м от р. Яккабагдарья, но удельный дебит при этом составил 5 л/с/м.

6.2 Мероприятие осуществляемые в водоводах системы питьевого водоснабжения

Как уже было отмечено в 3.3 водоводы системы питьевого водоснабжения засорены и материалы трубы повсеместно подвержены коррозии и разрушения. Для предотвращения дальнейшего засорения систему водоснабжения г. Карши необходимо пересмотреть систему водоподготовку в зоне насосной станции III- подъема, предусмотрев отстойник для удержания наносов, которые получаются в результате нарушения режима работы водозаборных узлов ВУ-1, 2, 3, 4. Основные участки трубопроводов, где не удается очищать продувкой или промывкой, если они подвержены коррозии, то предлагается замена новыми трубами. Замена труб системы питьевого водоснабжения г. Карши представляет сложную проблему, ибо они неразрывно связаны со всеми городскими инфраструктурами, поэтому используя положительный мировой опыт часть труб г. Карши предложено и заменено с использованием бестраншейной технологии 6400м участка, с диаметрами труб 600 и 800мм.При замене напорных труб с трубами меньших размеров в результате 10кратного уменьшения гидравлического сопротивления подачи- расход воды и давление не уменьшились, а наоборот увеличились на 1,4 раза. Суть использованной технологии заключается в следующим - прокладки, замены, ремонта, инспекции и обнаружения дефектов в подземных коммуникациях различного назначения с минимальным вскрытием земной поверхности, что в условиях г. Карши, позволила сохранить исходное качество транспортируемых вод и не нарушив сложившуюся экологическую обстановку. Новая неметаллическая труба помешается внутри старой стальной трубы, при этом, земляные работы проводились местами в начальном и конечном участке трубопровода, откуда производилась укладка труб. Другие технологии по восстановлению локальных участков труб для условий г. Карши не применимы, ибо городская сеть эксплуатируется более 30 лет.

Выводы по главе 6

1. По результатам исследований состояния скважин подземных месторождений питьевого водоснабжения г. Карши и Кашкадарьинской области для повышения надежности их работы рекомендованы и осуществлены мероприятия по их очистки и откачки. Проведенные мероприятия позволили увеличения дебита скважин на 20% и снижение энергозатрат при этом на 15%.

2. Для повышения надежности и безопасности систем водоснабжения г. Карши разработана и внедряется поэтапная замена изношенных стальных труб стекловолоконными трубами. В стекловолоконных трубах процесс коррозии не возникает, что снижает риск появления очагов бактерий различного характера в водоводах, после проведения всех мероприятий по водоподготовке и подаче воды по напорным трубам населению.

3. В целях защиты инфраструктуры и территорий города от загрязнений определены места для использования бестраншейной укладки неметаллических труб системы питьевого водоснабжения г. Карши.

ВЫВОДЫ

1. Натурные и теоретические исследования состояния водоснабжения г. Карши показали, что основной причиной снижения надежности и безопасности водоснабжения города являются нарушение гидравлического режима функционирования централизованной системы водоподачи и водораспределения. Только по г. Карши из-за нарушения гидравлического режима работы водопроводной системы потери составили более 31435 м^3/сутки воды, т.е. около 32 % всей мощности водопроводной сети, потери напора - более чем в 12 раз установленных проектных показателей. Нарушение гидравлического режима функционирования обусловили повышение концентрации бактерий в составе подаваемой для населения питьевой воды: только за 3 часа остановки водоподачи общее количество бактерий и коли-индекс увеличились более чем в 10 раз предельно допускаемой концентрации.

2. Для определения изменения уровня воды в скважинах водозаборных узлов получена закономерность изменения колебания горизонта воды в скважинах- Δh в зависимости от изменения расхода воды на гидропостах рек, расположенных в зоне нахождения подземных источников водоснабжения.

3. Установлены эмпирические зависимости понижения уровня в каждой эксплуатационной скважине водозабора в зависимости от величины расхода Q и радиуса влияния данной скважины E. Рекомендованы и осуществлены мероприятия по их очистке и откачке скважин подземных месторождений питьевого водоснабжения г. Карши и Кашкадарьинской области. Проведенные мероприятия позволили увеличить дебит скважин на 20% и снизить энергозатраты на 15%.

4. Гидроэнергетическими испытаниями 87 скважин водозаборных узлов подземных вод Китабо-Шахрисабзского месторождения установлен расход энергии в 60,6 тыс. кВт/сут. При проектной производительности скважин 224,0 тыс. м^3/сут воды, суммарная производительность насосных агрегатов вертикальных скважин водозаборных узлов снижалась на 59 тыс. м^3/сут, т.е. на 26,3 %, при этом расходы электроэнергии увеличились на 2 тыс.кВт/сут или на 3,3%.

5. В основном пункте водоподготовки г. Карши - станции III-подъема отсутствуют отстойники для удержания наносов, которые попадают в воду в результате выработки горных пород на скважинах подземных источников водоснабжения. Это приводит к засорению резервуаров чистой воды и распространению наносов по всей системе водоснабжения г. Карши.

6. Согласно данным исследования с использованием системы телемониторинга CCTV состояния внутренней части напорных водоводов системы питьевого водоснабжения г. Карши, внутренняя часть напорных труб засорена и заилена, что обусловливает возникновение дополнительных гидравлических сопротивлений.

7. Установлено, что проектная величина гидравлического сопротивления на трение водопроводных труб была принята 0,01931, а реальная величина его оказалась равной 0,2496. Таким образом, в результате засорения проточной части напорных труб гидравлическое сопротивление увеличилось в 12,92 раза.

8. Разработаны новые гидравлические модели для установления закономерностей изменения надежности и безопасности централизованной системы питьевого водоснабжения:

- разработаны гидравлические закономерности для установления динамики среднего по живому сечению потока концентрации бактерий при изменении расхода, напора воды и гидравлического сопротивления водопроводной трубы на основе диффузионной теории перемешивания жидкостей, закона Фика, модели взаимопроникающих и взаимодействующих многофазных смесей и с использованием критериев динамического подобия - Фруда и Рейнольдса;

- разработаны характеристические уравнения и граничные условия;

- при отсутствии химико-биологического превращения бактерий в напорном водоводе $(\sigma_1 = 0)$ получены закономерности, с помощью которых устанавливается время, за которое достигается безопасный уровень системы водоснабжения;

- получены гидравлические закономерности изменения концентрации бактерий и давления по всему объему водопроводной сети при изменении расходов воды при возникновении дополнительных гидравлических сопротивлений водопроводных труб;

- получены зависимости для расчета значений изменений концентрации бактерий и изменения давления воды в сети;

- получены закономерности, с помощью которых можно установить динамику изменения концентрации бактерий, изменения давления воды и времени распространения бактерий по водопроводной сети системы водоснабжения.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Апельцина Е.И., Оленева О.С. Биоразлагаемые органические вещества и повторный рост микроорганизмов в питьевой воде /Строительство и архитектура. Экспресс-информация, Инженерное обеспечение объектов строительства, 1991. - вып.7. - С.4-10.
2. Гальперин Е.М. Определение надежности функционирования кольцевой водопроводной сети //Водоснабжение и санитарная техника, 1989.-№2. –11с.
3. Гловацкий О.Я., Исаков Х.Х., Талипов Ш.Г. Опыт диагностирования насосных станций и скважинных насосов. // Мелиорация и водное хозяйство. М.: 2003. № 3. с.45-47.
4. Гловацкий О.Я., Талипов Ш.Г., Пак О.Ю. Новые методы динамического контроля насосного агрегата крупных насосных станций. Системы машинного водоподъема// Современные проблемы управления водными ресурсами. Ташкент. 2004. т.2. с.24.
5. Гухман А.А. Введению в теорию подобия. - М.: Наука,1973.-296с.
6. Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекулярная физика. Изд. 2-е переработанное. - М.: «Наука»,1976.-480с.
7. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. - М.: Наука, 1982. -320 с.
8. Махмудов И.Э. О новом подходе в исследовании уравнения неустановившегося движения воды в открытых каналах // сб. водные проблемы аридных территорий. Выпуск 2, Фан АН РУз, 1994, с, 179-182.
9. Махмудов И.Э. Имитационное моделирования движения воды в машинном канале при аварийных ситуациях //Тезисы докладов научно-практической конференции ТИИИМСХ, Т., 1995. с. 45-46.
10. Махмудов И.Э. Bölgedekinemlilikve Özbekistan instabilgelişmesi/ Bűlten Izmir'i Yeniden Dűşűnmekve Dűşlemek // 24-25 Mayis, 2007. b. 31.
11. Махмудов И.Э. Özbekistan'daičmesuyuteminiproblemleri //BűltenIzmir'i Yeniden Dűşűnmekve Dűşlemek // 24-25 Mayis, 2007. b. 134.
12. Махмудов И.Э. О создании надежной системы питьевого водоснабжения в населенных пунктах Республики Узбекистан //Журнал «Энергия ва ресурс тежаш муаммолари». - Ташкент,2007. - №3-4.-С.126-127.
13. Makmudov E.J., Makmudov I.E., Sherfedinov L.Z. Problems of water resource management in Central Asia Transboundary Water Resources: //A Foundation for Regional Stability in Central Asia.P.O. Box 17,3300AADordrecht, The Netherlands. Springer, 2007. - p.11-28.
14. Махмудов И.Э. Оперативное регулирование изменения концентрации бактерий в водоводах системы питьевого водоснабжения // Журнал Проблемы механики. –Ташкент, 2008. - №1. - С.21-23.
15. Makmudov E.J., Makmudov I.E., Sherfedinov L.Z, Kazbekov J.S. Formation and use water resources in Central Asia Water resources and water use problems in Central Asia and the Caucasus. Proceedings of Conference. Russia, 2007. -P.1-6.
16. Хамидов А.А., Худайкулов С.И., Умаров А.И. Автомодельная задача о свободном турбулентном течении смеси вязких жидкостей. // Журнал Проблемы механики.-Ташкент, 2003. - №1. - С. 57-61.
17. Храменков С.В. Стратегия управления эксплуатацией и обеспечение надежности системы хозяйственно-питьевого водоснабжения: Дис. канд. техн. наук. - МГСУ,1999.
18. Assessing Microbial Safety of Drinking Water: Improving approaches and methods, WHO/OECD/IWA, 2003 P.24-45
19. Ausaf Rahman, Mr. Nelson Ekane, Ms. Lovisa Selander and Mr. Enest 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.
20. 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
21. Quevauviller, P., Borchers, U., Thompson, C.K., Simonart, T., (Eds.) The Water Framework Directive: Ecological and Chemical Status Monitoring, WILEY, 2008.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

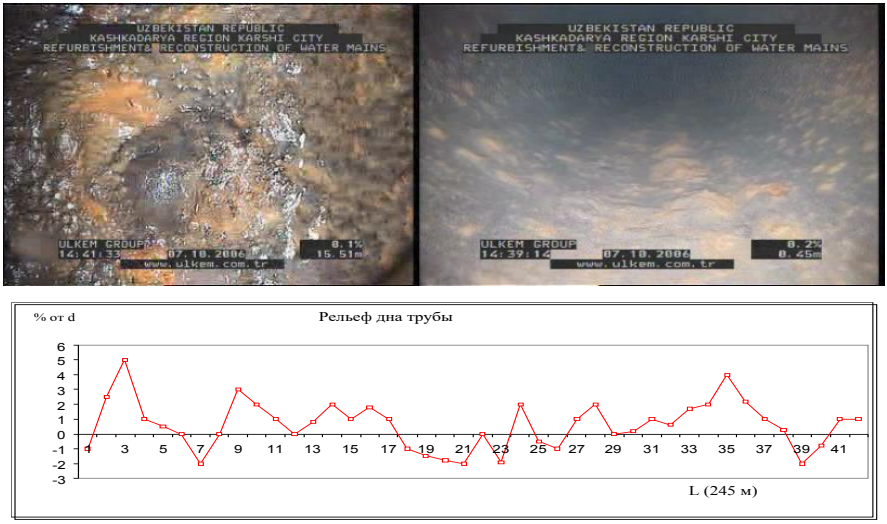


Рисунок П.1.1 Состояние водовода на участке улицы Хонабод-Пахтазор

Рисунок П.1.2 Состояние водовода на участке улицы Хонабод-Пахтазор

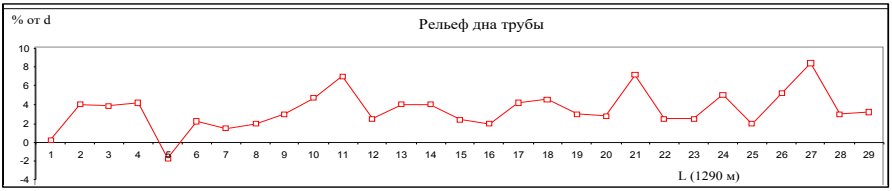


Рисунок П.1.3 Состояние водовода на участке улицы Насаф

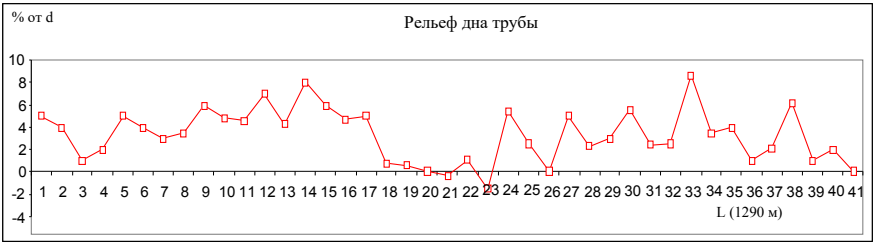
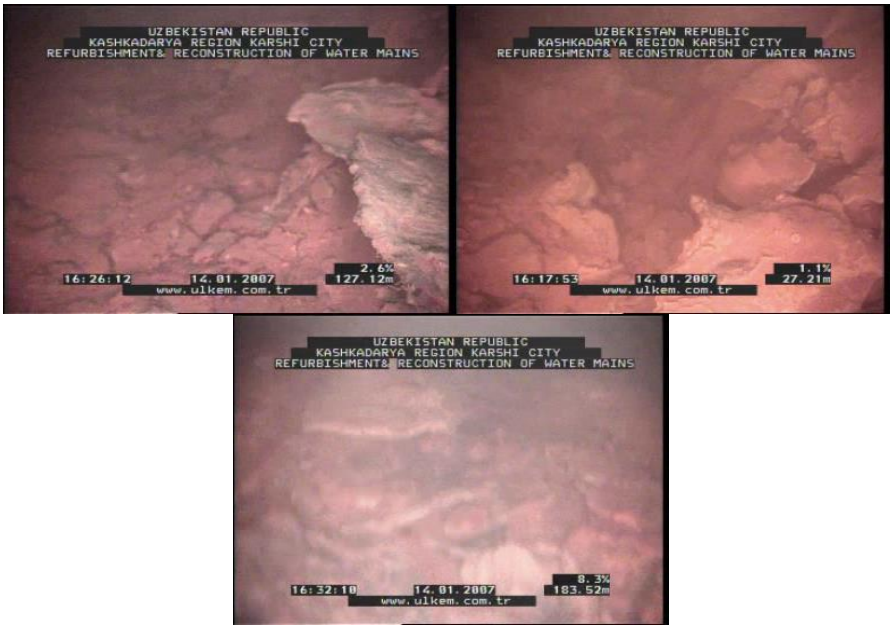


Рисунок П.1.4 Состояние водовода на участке улицы Насаф



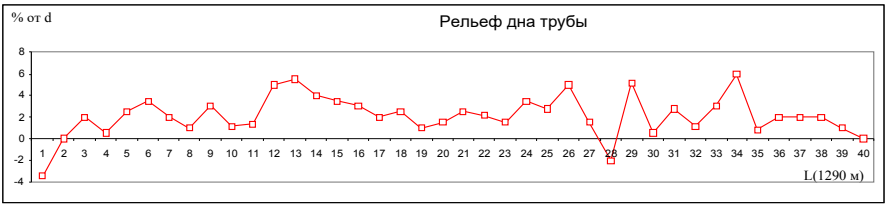


Рисунок П.1.5 Состояние водовода на участке улицы Насаф

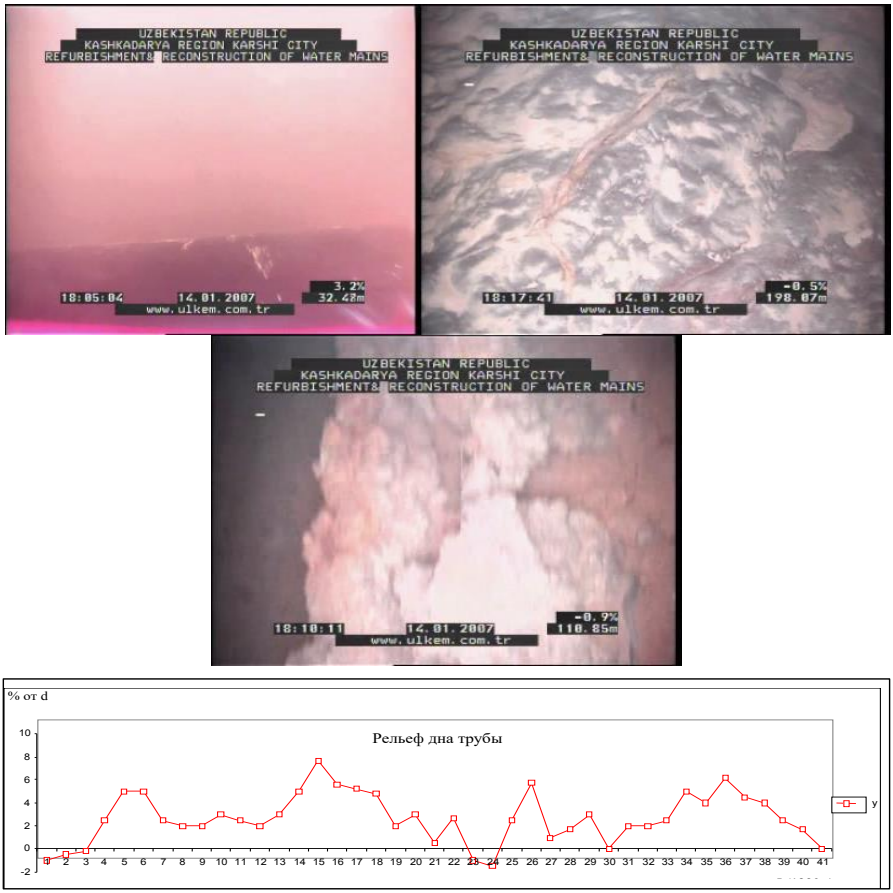
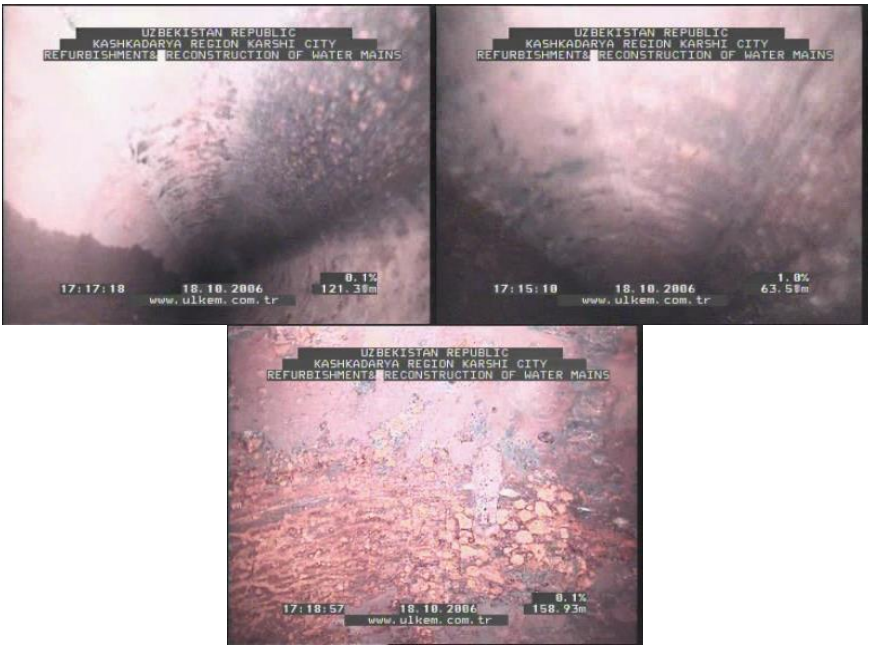


Рисунок П.1.6 Состояние водовода на участке улицы Насаф



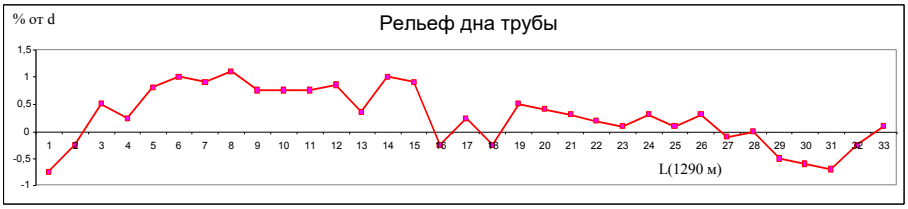
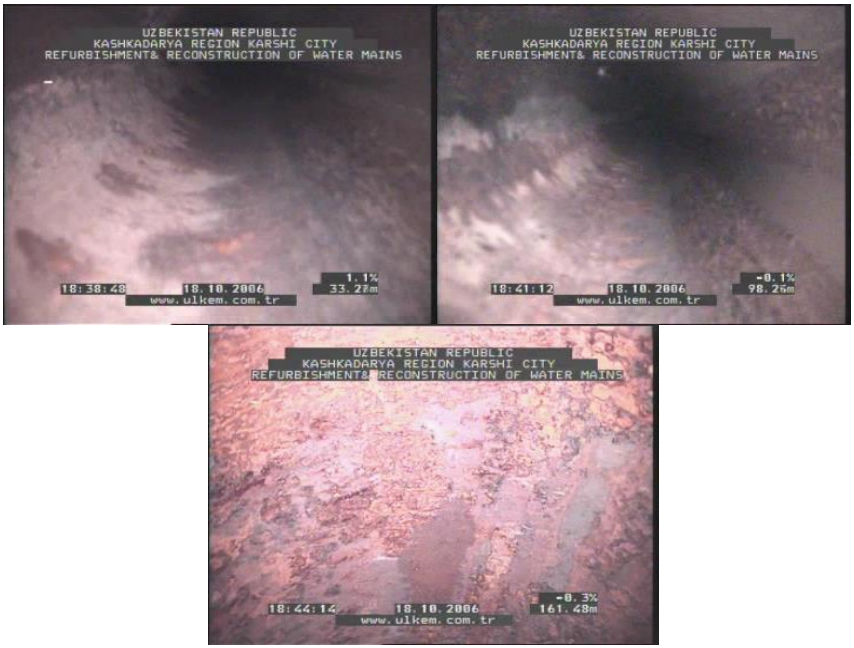


Рисунок П.1.7 Состояние водовода на участке улицы Насаф



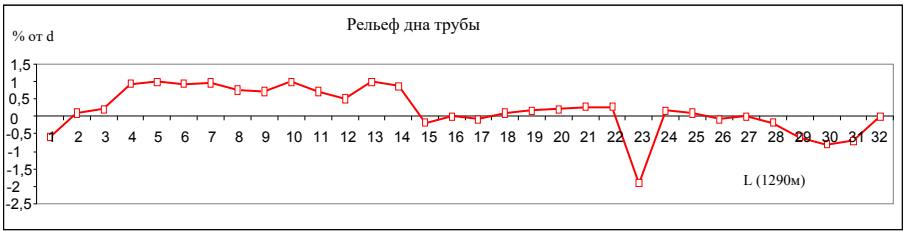
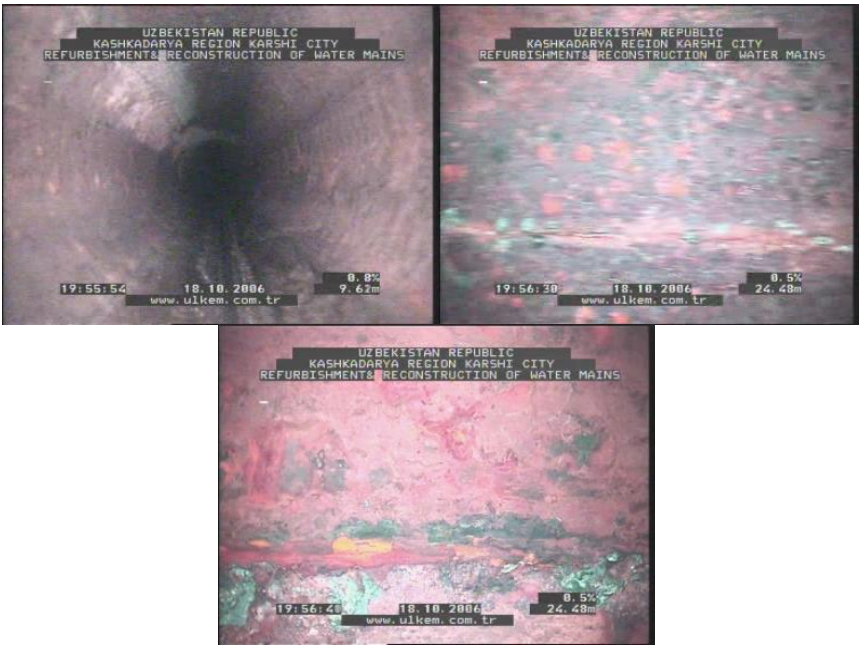


Рисунок П.1.8 Состояние водовода на участке улицы Насаф



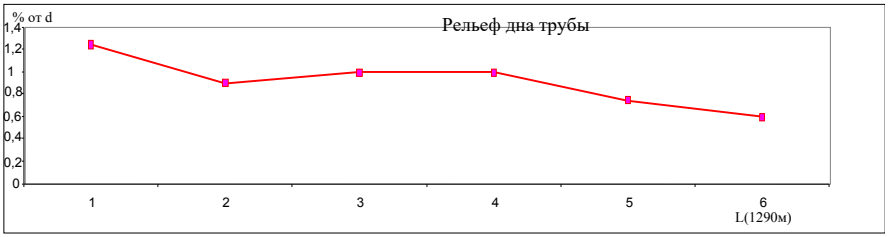


Рисунок П.1.9 Состояние водовода на участке улицы Насаф

Рисунок П1.10 Состояние водовода на участке улицы Насаф

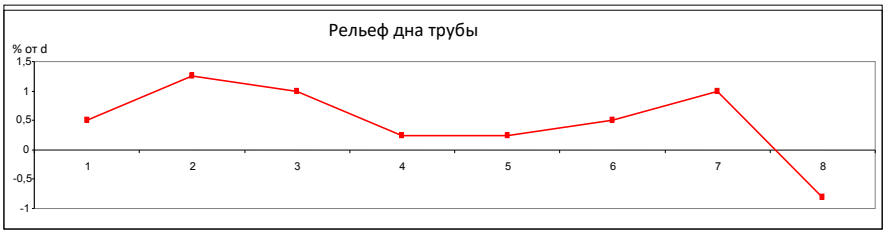
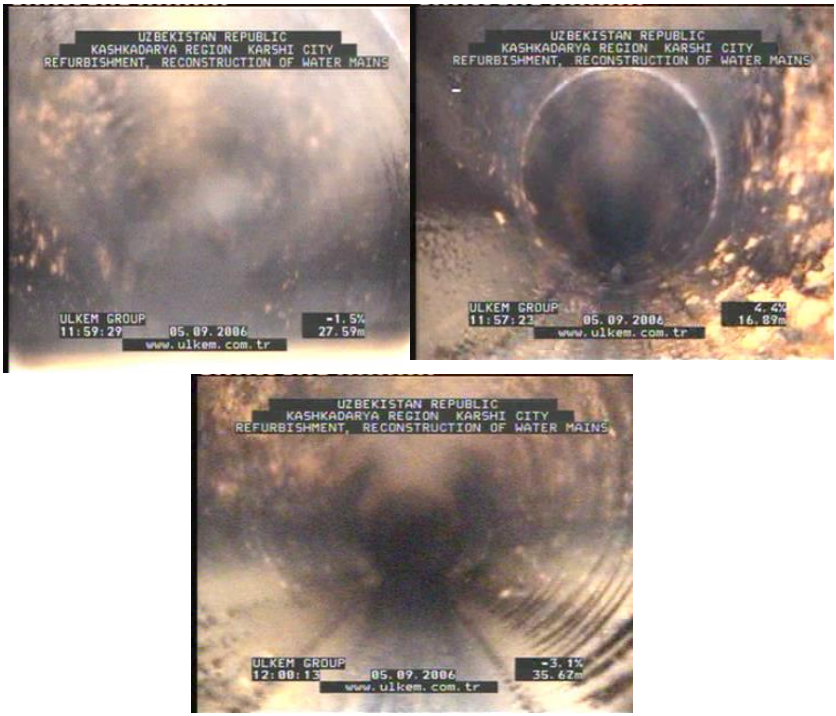


Рисунок П.1.11 Состояние водовода на участке улицы Насаф



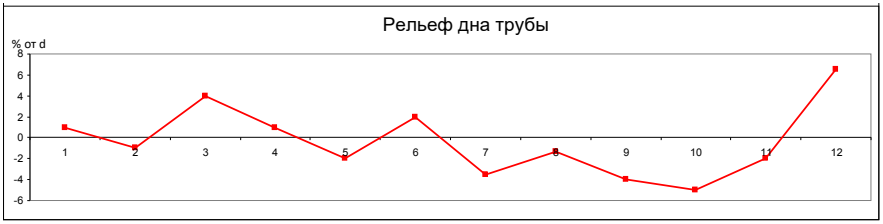


Рисунок П.1.12 Состояние водовода на участке улицы Махтумкули

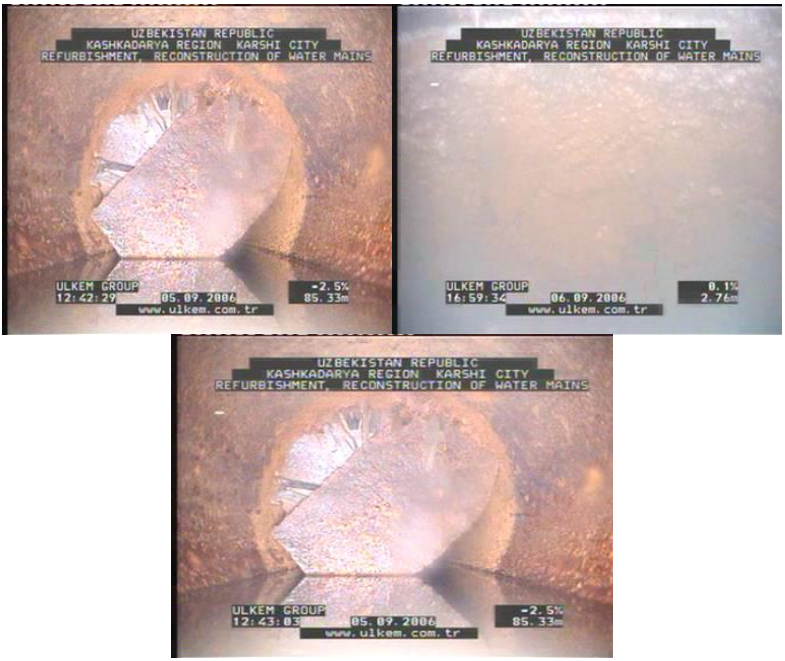


Рисунок П.1.13 Состояние водовода на участке улицы Махтумкули

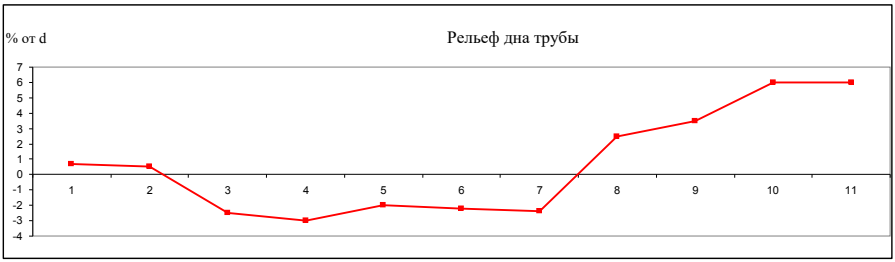


Рисунок П.1.14 Состояние водовода на участке улицы Махтумкули

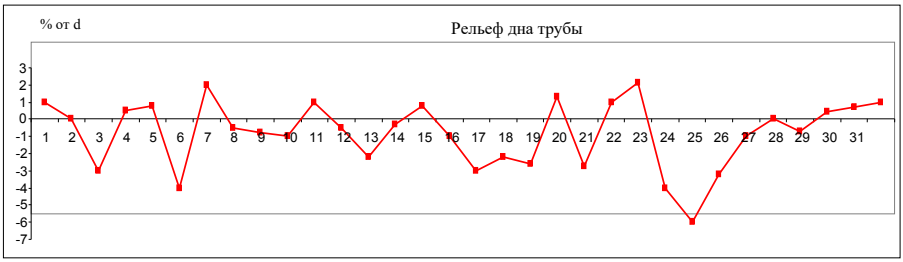


Рисунок П.1.15 Состояние водовода на участке улицы Махтумкули

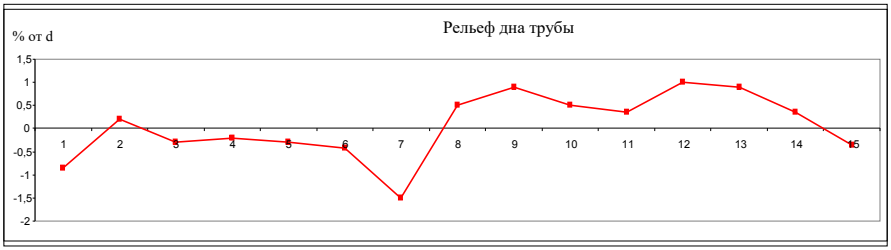


Рисунок П.1.16 Состояние водовода на участке улицы Махтумкули

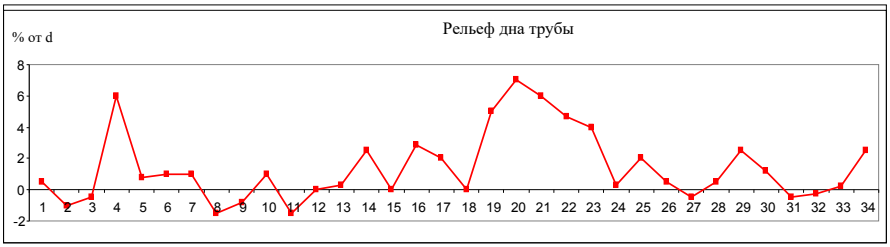
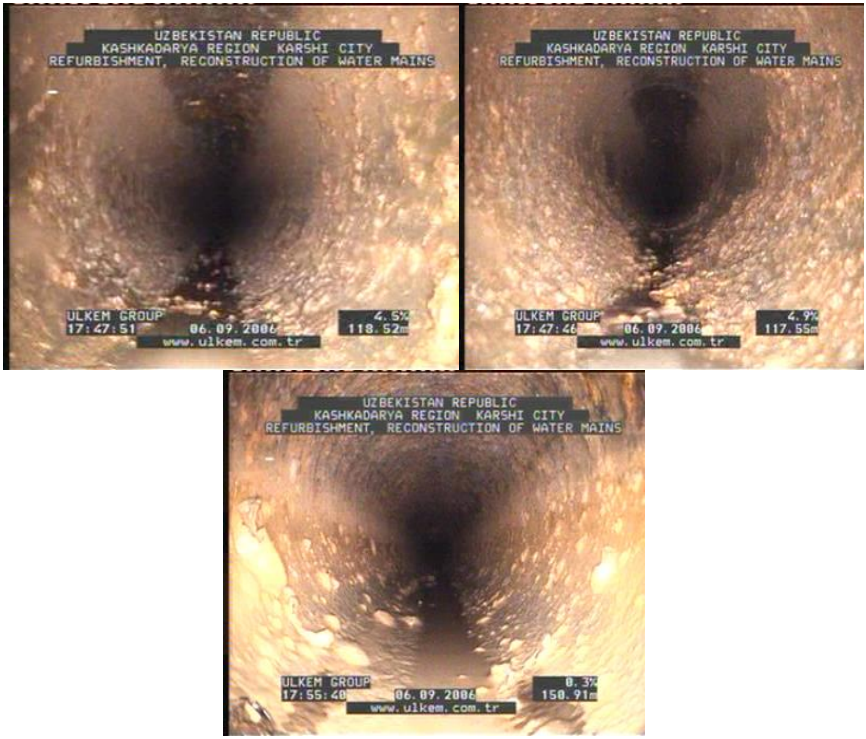


Рисунок П.1.17 Состояние водовода на участке улицы Махтумкули



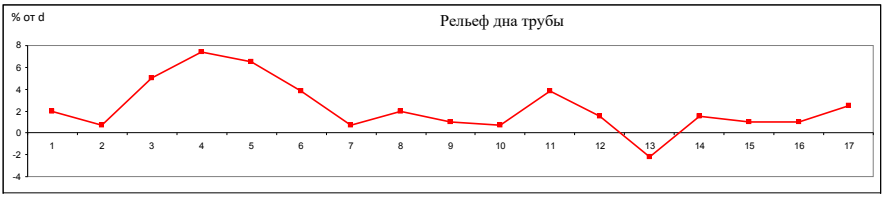


Рисунок П.1.18 Состояние водовода на участке улицы Махтумкули

Рисунок П.1.19 Состояние водовода на участке улицы Махтумкули

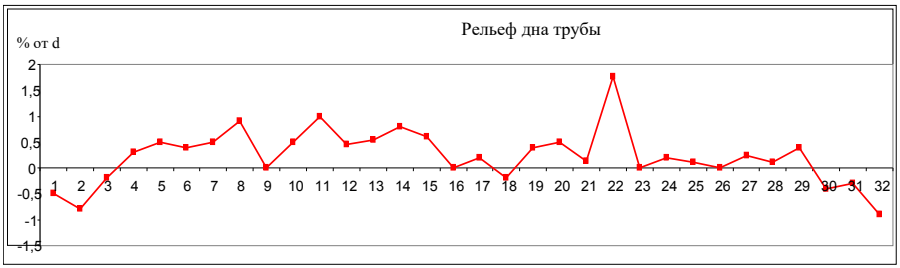


Рисунок П.1.20 Состояние водовода на участке улицы Махтумкули

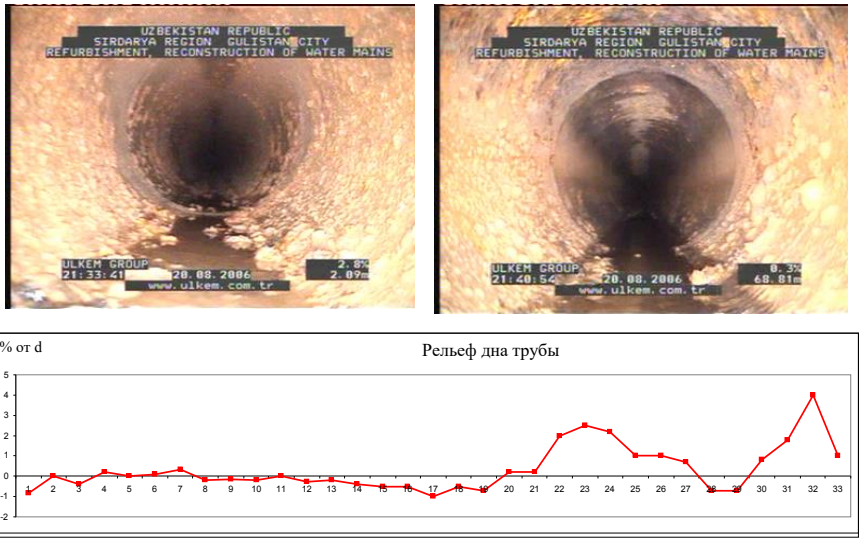


Рисунок П.1.21 Состояние водовода на участке улицы Махтумкули

Рисунок П.1.22 Состояние водовода на участке улицы Махтумкули

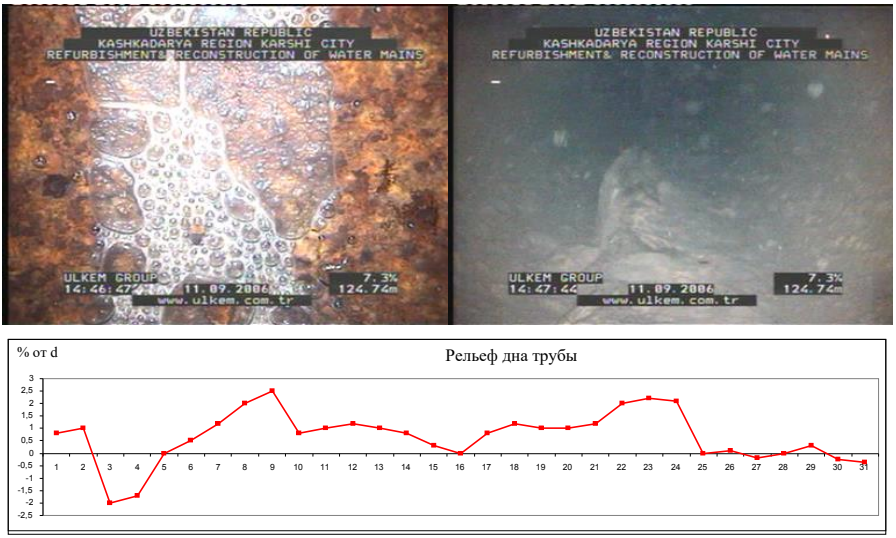


Рисунок П.1.23 Состояние водовода на участке улицы Махтумкули

Рисунок П.1.24 Состояние водовода на участке улиц Мустакиллик-Шибаев

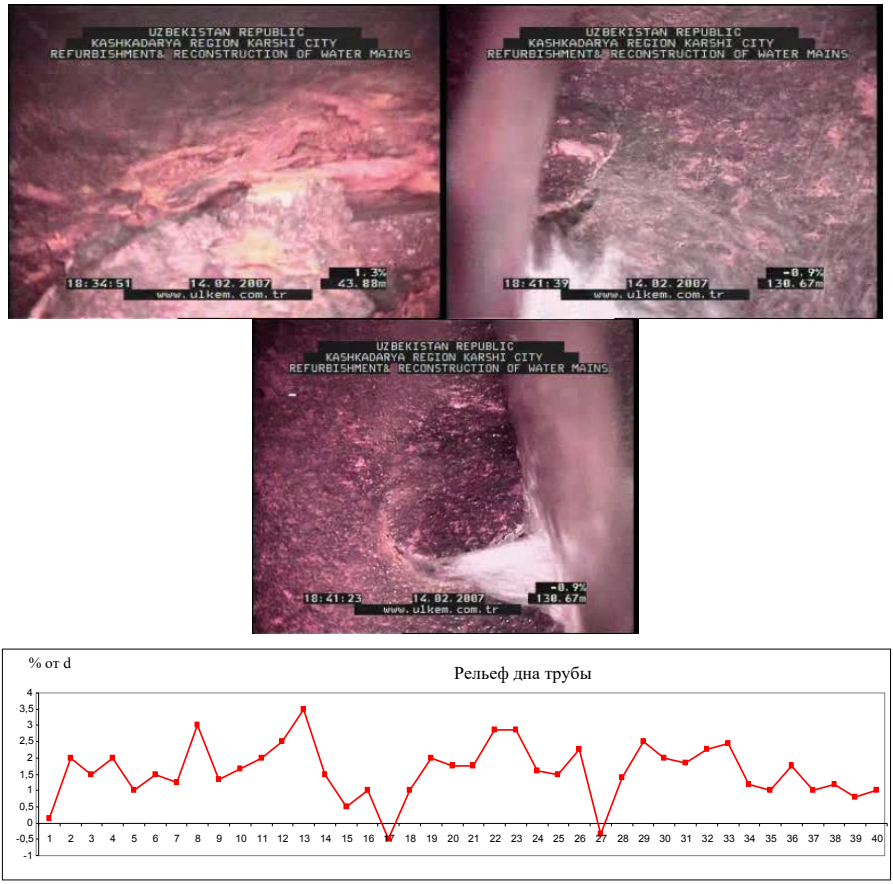


Рисунок П.1.25 Состояние водовода на участке улиц Мустакиллик-Шибаев

Рисунок П.1.26 Состояние водовода на участке улиц Мустакиллик-Шибаев

Рисунок П.1.27 Состояние водовода на участке улиц Мустакиллик-Шибаев

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П . 2 . 1 Расчет максимальных проектных понижений в скважинах водозаборов

Название участка	**Расход галереи**	**Расход скваж.**	**К-во скв.**	**Длина галереи**	**Расстояние между скв.**	**Диаметр скважины**	**Водопроводимость**	***Ln*= —г *mc***	**Допол. понижение, вызванное близ распол. скв.**	**Дополнит. понижение вызван. несов. скв.**	**Понижение на линии в/з**	**Макс. пр ог. понижен.**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
Яккабагский (ВУ-1)	129600 / 1500	6048 / 70	22	9500	430	0,25	4375	6,306	1,32	10	54	65,32
Китабский (ВУ-2, ВУ-3)	259200 / 3000	6048 / 70	43	11000	250	0,25	4000	5,764	1,23	10	74	85,23
Междуречье р.Кашкадарья и р.Ак-Су (ВУ-4)	43200 / 500	6048 / 70	7	3000	480	0,25	4300	6,345	1,37	10	72	83,37

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица П.3.1 Сравнительная таблица результатов изучения качества подземных вод на групповых водозаборах по ГОСТ «Вода питьевая»

№	Наименование групповых водозаборов	Наименование показателей годы	Органолептические показатели качества воды								
			сухой остаток, мг/л	хлориды (Cl⁻), мг/л	сульфаты (SO_4), мг/л	железо мг/л	марганец (Mg^{2+}), мг/л	медь (Cu^{2+}), мг/л	цинк (Zn^{2+}), мг/л	общая жесткость мг-экв/л	водородный показатель PH
норматив не более			1000	350	500	0,3	0,1	1,0	5,0	7,0	6,9
1	ВУ-1	1975	662	11	255	2	0,001	-	0,065	9,60	7,4
		1998	884	19	341	-	-	-	-	12,70	7,48
		1999	800	18	284	-	0,031	0,008	0,013	11,70	7,18
		2000	821	49	345	0,1	0,010	0,010	0,010	11,3	7,95
		2001	800	23	258	0,3	0,0018	0,0033	0,0032	11,5	7,0
		2002	736	21	260	0,2	0,0016	0,00014	0,00022	11,9	7,58
		2003	740	23	245	-	0,00077	0,00031	0,00021	11,50	7,45
2	ВУ-2	1975	348	7	24	-	0,0008	-	0,082	5,7	7
		1998	294	12	59	-	-	-	-	4,10	8,0
		1999	500	12	58	-	0,010	0,010	0,016	7,45	7,3
		2000	275	15	43	0,23	0,010	0,010	0,010	5,05	8,17
		2001	490	18	67	0,17	0,024	0,0045	0,017	8,0	7,28
		2002	466	18	51	0,2	0,00016	0,0029	0.00024	6,40	7,68
		2003	300	9	33	-	-	0,00038	-	4,90	8,60
3	ВУ-3	2001	472	20	53	-	0,0020	0,0020	0,0040	7,8	7,52
		2002	430	18	70	-	0,00017	0,00011	0,00021	6,60	7,75
		2003	340	16	53	-	-	0,00022	-	5,10	8,10
4	ВУ-4	1997	360	9	44	-	0,035	0,0037	0,045	6,10	7,18
		1998	310	9	20	-	-	-	-	5,3	7,6
		1999	380	11	25	-	0,013	0,009	0,015	7,95	7,52
		2000	701	46	216	0,09	0,010	0,010	0,010	9,1	8,2
		2001	568	20	95	-	0,00040	0,0059	0,0035	8,80	7,55
		2002	370	9	16	-	0,00013	0,00017	0,00011	5,05	7,56
		2003	360	9	25	-	-	0,00012	-	5,80	7,70

Таблица П.3.2 Сравнительная таблица результатов изучения качества подземных вод на групповых водозаборах по ГОСТ «Вода питьевая»

№	Наименование групповых водозаборов	Токсилогические показатели								Радиоактивные	
		бериллий (Be^{2+})	молибден (Mo)	мышьяк (As^{3+5})	нитраты (NO_3^-)	свинец (PB^{2+})	селен (Se)	строний (Sr^{2+})	фтор (F)	уран(и) природный	радий-226 Ra
1	ВУ-1	0,0002	0,25	0,05	45,0	0,03	0,001	7,0	0,7	$1,7.10^{-4}$	$1,2.10^{-10}$
		-		-	-	0,005	0,0008	1,50	0,7	-	-
		-		-	18	-	-	-	-	-	-
		-	0,018	-	20	0,02	-	1,0	0,2	$2,9\text{-}10^{-4}$	$2,6.10^{-10}$
		0,00002	0,005	-	-	0,012	0,0065	2,0	0,16	-	-
		0,00003	0,0017	0,0018	15	0,00005	0,0008	0,65	0,21	$1,64.10^{-4}$	$3,61.10^{-11}$
		0,000013	0,00019	0,0014	10	0,000012	0,00090	3,3	-	-	-
		-	0,00062	0,0005	31	-	0,0005	1,6	-	$3,4.10^{-4}$	-
2	ВУ-2		0,002	0,001	1,6	0,03	0,0006	0,25	0,05	-	-
		-	-	-	28	-	-	-	0,27	-	-
		-	0,022	-	23	-	-	1,0	0,18	$7,5.10^{-4}$	$9,0.10^{-10}$
		0,00002	0,002	-	-	0,010	0,0059	0,4	0,08	-	-
		0,000016	0,0016	0,0028	32	0,00005	0,0030	0,88	0,11	$1,18.10^{-4}$	$5,41.10^{-11}$
		0,0000037	0,00042	0,0013	15	0,000015	0,0010	1,8	-	-	-
		-	0,00060	0,0005	26	-	0,0005	0,43	-	$6,7.10^{-4}$	-
3	ВУ-3	0,00003	0,0024	0,0009	34	0,00005	0,0009	0,83	0,15	$1,48.10^{-4}$	$6,76.10^{-11}$
		0,000010	0,00026	0,0016	22	0,000010	0,00090	1,1	-		-
		-	0,00024	0,0005	47	-	0,0005	0,62	-	$6,6.10^{-4}$	-
4	ВУ-4	0,00008	0,025	-	12	0,0040	-	0,50	-	$7,2.10^{-4}$	-
		-		-	-	-	-	-	-	-	-
		0,00002	0,009	-	20	0,001	-	1,0	0,20	$2,7.10^{-4}$	$4,7.10^{-11}$
		0,00002	0,0066	-	-	0,010	0,0057	1,0	0,12	-	-
		0,000005	0,0013	0,0017	36	0,000005	0,0024	0,90	0,08	$1,97.10^{-4}$	$1,11.10^{-10}$
		0,000011	0,00027	0,0014	19	0,000013	0,00090	0,83	-	-	-
		-	0,00055	0,0010	31	-	0,0005	0,58	-	$4,5.10^{-4}$	-

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

МОНОГРАФИЯ

Махмудов Илхомжон Эрназарович
Муродов Навруз Курбонович
Садиев Умиджон Абдусамадович
Казаков Эргаш Ахмадович

Passed for printing 25.03.2022. Appearance 30.03.2022.
Typeface Times New Roman. Circulation 100 copies.
RS Global Sp. z O.O., Warsaw, Poland, 2022
Numer KRS: 0000672864
REGON: 367026200
NIP: 5213776394

Publisher:
RS Global Sp. z O.O.
Dolna 17, Warsaw,
Poland 00-773

https://monographs.rsglobal.pl/
Tel: +48 226 0 227 03
Email: monographs@rsglobal.pl

RS Global