

Кыргызско-Российский Славянский университет

На правах рукописи
УДК 628.161.3

Мамбетова Рахат Шергазиевна

**Обработка речных вод предгорной зоны Чуйской долины на установках
заводского изготовления**

05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных
ресурсов

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
д.т.н., профессор
Абдурасулов И.

Бишкек 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ГЛАВА 1 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ФОРМИРОВАНИЮ РЕЧНЫХ ВОД И ИХ ОБРАБОТКИ НА УСТАНОВКАХ ЗАВОДСКОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ.....	9
1.1 Условия формирования речных вод предгорной зоны Чуйской долины и их классификация по качеству.....	9
1.2 Анализ технологических схем и установок, используемых для подготовки питьевой воды.....	22
Выводы по первой главе.....	34
2. ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЯ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕТЛЕНИЯ ВОДЫ НА МОДЕЛИ ТОНКОСЛОЙНОГО ОТСТОЙНИКА.....	39
2.1 Аналитическая оценка эффективности использования процесса тонкослойного осаждения воды на модели тонкослойного отстойника.....	39
2.2 Лабораторные исследования процесса удаления примесей, содержащихся в речных водах.....	41
2.3 Исследование технологических процессов, происходящих на модели трубчатого отстойника.....	48
Выводы по второй главе.....	59
3. ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ВОДЫ НА ПОЛУПРОИЗВОДСТВЕННОЙ УСТАНОВКЕ	61
3.1 Экспериментальные исследования процесса осветления воды	61
3.2 Комплексное изучение процесса ухудшения качества речных вод .	70
3.3 Анализ процесса фильтрования малоконцентрированных суспензий.....	79
3.3.1 Методика выполнения и результаты экспериментальных исследований.....	81
3.4 Теоретические положения расчета параметров работы трубчатого отстойника.....	91
3.5 Оптимизация величины расчетной скорости движения воды в ячейках отстойника.....	97
Выводы по третьей главе.....	98
4. ГЛАВА 4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ И ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ УСТАНОВКИ ЗАВОДСКОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЛЯ ОСВЕТЛЕНИЯ РЕЧНОЙ ВОДЫ ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ.....	100
4.1 Рекомендуемая технологическая схема очистки речных вод для питьевого водоснабжения.....	100
4.2 Технико-экономическая эффективность использования установки	104

заводского изготовления для очистки речных вод.....	
Выводы по четвертой главе.....	112
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	113
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	115
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	131

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение качественной питьевой водой малых населенных пунктов является чрезвычайно важным и требует решения серьезной научно-практической задачи. Этот вопрос становится особенно острым в настоящее время, когда инфраструктура, образ жизни и социальные условия малых населенных пунктов преобразовываются исходя из решаемых задач – все для безопасности и здоровья людей.

По данным Нацстаткома, за 1990-2010 г.г., более 90% сельских водопотребителей Кыргызской Республики (КР) использовали в качестве источника водоснабжения подземные воды. Однако, за последние годы дебит подземных вод уменьшается, а качество их ухудшается. По данным Государственного агентства по геологии и минеральным ресурсам при Правительстве КР, Всемирного Банка Развития уменьшение дебита подземных вод и ухудшение их качества носит системный и прогрессирующий характер. Эти факты подтверждают необходимость расширения использования поверхностных вод предгорной зоны, которые не используются в должной степени в качестве источника водоснабжения населенных мест. Использование этих речных вод в качестве источника водоснабжения населенных пунктов регионов КР, по рекомендациям и требованиям существующих Правил и СНиПа (Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. 2.04.02.-84*) является не решаемой задачей. Потому что эти нормативные документы не учитывают гидрологические особенности речных вод предгорной зоны, высокогорные и климатические условия малых населенных пунктов.

По данным Департамента развития питьевого водоснабжения и водоотведения Госстроя при Правительстве КР (ДРПВиВ) вопрос водоснабжения малых населенных пунктов в КР остро стоит именно в Чуйской долине.

В связи с этим проведение информационных, теоретических и экспериментальных исследований, направленных на разработку и практическое применение технологических схем обработки воды, обеспечивающих

получение питьевой воды из речных вод предгорной зоны Чуйской долины КР, соответствующей законам КР «О питьевой воде», «О воде» и Технического регламента «О безопасности питьевой воды» является актуальным.

Цель работы – экспериментальное и расчетно-теоретическое обоснование применения водоочистных сооружений заводского изготовления для обработки речных вод предгорной зоны Чуйской долины.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- изучение условий формирования речных вод предгорной зоны Чуйской долины Кыргызстана;
- определение физико-химического состава и фазово-дисперсного состояния примесей исследуемых вод;
- анализ технологических схем обработки речных вод для малых населенных мест;
- экспериментальные исследования процессов и методов обработки воды, применительно осветлению и обесцвечиванию речных вод предгорной зоны Чуйской области КР, исходя из результатов исследования технологии обработки воды в лабораторных и полупроизводственных условиях;
- разработка технологической схемы обработки речных вод предгорной зоны с использованием установок заводского изготовления и определение ее технико-экономических показателей.

Объект исследования – воды рек предгорной зоны Чуйской долины КР.

Предмет исследования: информационные, экспериментальные и теоретические исследования качественных показателей и технологии обработки воды для обеспечения хозяйственно-питьевых нужд водопотребителей сельских населенных пунктов. Исследования технологических процессов коагуляции, окисления, седиментации, коагуляции и фильтрования, которые используются в основной технологической схеме обработки речных вод.

Научная новизна:

- установлен характер и динамика изменения физико-химических показателей качества речной воды предгорной зоны, для оперативного решения вопроса улучшения качества воды;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований по обработке речной воды на модельных и полупроизводственных условиях;
- аналитические зависимости для определения значения параметров работы водоочистой установки в зависимости от качества исходной воды и производительности станции;
- разработана технологическая схема обработки речных вод предгорной зоны Чуйской долины с использованием водоочистных установок заводского изготовления и их технико-экономические показатели.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- особенности изменения физико-химических показателей качества речной воды предгорной зоны Чуйской долины КР;
- полученные результаты технологического исследования процесса по коагулированию и седиментации загрязнений речных вод с применением реагентов, осветления воды в тонкослойном отстойнике и фильтрования в зернистом слое кварцевой (песчанной) загрузки;
- предложенные аналитические зависимости для определения технологических параметров работы водоочистой установки;
- результаты технико-экономической оценки разработанной технологической схемы для обработки речных вод предгорной зоны Чуйской долины с использованием водоочистных установок заводского изготовления.

Практическая значимость

- результаты исследований обеспечивают возможность оперативного прогнозирования качества подготовленной воды, обеспечивает обработку речной воды предгорной зоны

– экономический эффект от внедрения данной технологической схемы, по приведенным затратам, 180 тысяч сом в год по сравнению с типовым решением.

Методика исследования использованы общепринятые физические, химико-технологические, электрохимические, гидравлические и математико-экономические методы исследования. Лабораторные исследования выполнялись в соответствии с действующими нормативными документами и частными методиками. Расчеты и обработка результатов экспериментальных исследований выполнялись методами математики и математической статистики с применением стандартных пакетов прикладных программ Microsoft Excel и Statistica.

Экономическая значимость полученных результатов определена при усовершенствовании и разработке технологии очистки воды из речных вод источников предгорной зоны Чуйской долины и составила 180 тысяч сом с одной установки.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены на: Международной научно-практической конференции «Архитектура, дизайн и строительство в условиях горных регионов Центральной Азии» (г.Бишкек, 2011, 2012 и 2013гг.); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы управления водными ресурсами и водосбережения» (г.Алматы, 2014 г.); Международной IX научно-технической конференции, посвященной 100-летию академика РАН Яковлева С.В. - «Яковлевские чтения» (г. Москва, 2015 г.); Международной научно-практической конференции «Техносферная безопасность: наука и практика» (г.Бишкек, 2015 г.); Международной научно-практической конференции на тему «Современные направления развития водоснабжения и водоотведения» (г.Алматы, 2016 г.).

Личный вклад соискателя – соискателем сформулирована цель и решены поставленные задачи исследования, выполнены теоретические и экспериментальные исследования, разработана и предложена технологическая

схема обработки речных вод предгорной зоны Чуйской долины и доказано преимущество перед традиционными решениями.

Публикации. Основные положения работы опубликованы в 11 научно-технических изданиях, в том числе в одном учебном пособии для студентов ВУЗов.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Работа изложена на 131 страницах машинописного текста и включает в себя 27 рисунков, 25 таблиц, список использованной литературы из 152 наименований и 2 приложения.

ГЛАВА 1

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ФОРМИРОВАНИЮ РЕЧНЫХ ВОД И ИХ ОБРАБОТКИ НА УСТАНОВКАХ ЗАВОДСКОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

1.1 Условия формирования речных вод предгорной зоны Чуйской долины

Чуйская долина расположена на северной окраине Кыргызской Республики. Кыргызская часть долины охватывает относительно обширное левобережье р. Чу от меридиана Боомского ущелья на востоке до верхнего и среднего течения реки (Аспара) Ашмара, правого притока реки Курагаты на западе. Долина вытянута в широтном направлении с запада на восток на расстояние 200 км, и 100 км с севера на юг в самом широком месте. К западу и северо-западу долина открыта и постепенно переходит в обширную песчаную пустыню Моюн-Кум. Наиболее низкие высотные отметки (570-590 м) наблюдаются на севере и северо-западе вблизи водохранилища Ташаткуль. К югу и юго-востоку высота возрастает у с. Джель-Арык и достигает 1250м [2].

Днище Чуйской долины сложено рыхлыми осадочными отложениями, которые представлены преимущественно галечниками, иногда с прослоями песков и гравия. Ближе к горам Кыргызского хребта, в зоне предгорного шлейфа поверхностные образования представлены мощными грубообломочными щебневыми выносами горных рек и временных водотоков. Климат Чуйской области отличается разнообразием. На севере, в равнинной части он континентальный, сухой, лето жаркое (средняя температура июля 17-25°C), зима умеренно холодная (средняя температура января -7°C). Среднегодовое количество осадков 270-400 мм. На склонах гор по мере увеличения высоты температура воздуха понижается, а количество осадков увеличивается [2].

В верхних частях предгорного шлейфа в пределах высот от 900 до 1100 метра над уровнем моря распространены светло-каштановые почвы.

Почвообразующими породами служат пролювиально-аллювильные, галечниковые отложения, местами лессовидные суглинки. Развиваются они под полынно-злаковой сухостепной растительностью. Содержание гумуса колеблется от 1,2 до 3,5%. Под бурым, комковато-пылеватым гумусовым горизонтом мощностью 20-30 см лежит светлый уплотненный карбонатный горизонт, переходящий в хрящеватый суглинок [102].

На высотах 1700-1900 метров над уровнем моря формируются темно-каштановые почвы, занимающие верхнюю часть предгорий - прилавков, почвы незасоленные, малокарбонатные. Содержание гумуса в пахотном горизонте в зависимости от степени эродированности колеблется от 2,5 до 6,2%, а в подпахотном – от 1 до 3,5 [102].

Чуйская долина имеет развитую речную сеть [2]. Особенно густо речная сеть развита на северных склонах Кыргызского Ала-Тоо. Большая часть этих рек относится к бассейну р.Чу. По характеру питания и расположению истоков все реки, стекающие с северного склона Кыргызского Ала-Тоо относятся к типу ледниково-снегового питания. Это левые притоки р. Чу – реки Шамшы, Кегети, Ысык-Ата, Аламедин, Ала-Арча, Сокулук, Ак-Суу, Кара-Балта и др. Наши исследования затронули некоторые из них, а именно р. Аламедин. Истоки ее лежат на высоте более 3500 м, основную роль играют талые ледниковые воды. Но в формировании стока участвуют также атмосферные осадки и подземные воды. Для режима рек этого типа характерны два максимума расхода – весенний, связанный с таянием сезонных снегов и длительное летнее половодье, которое, в связи с энергичным таянием ледников проявляется бурно, особенно в июле-августе. Высокое стояние воды у этих рек наблюдается довольно продолжительное время – с апреля до сентября.

Река Аламедин берет свое начало с ледников центральной части Кыргызского хребта, хотя по среднегодовому расходу воды немного уступает р.Ысык-Ата. Системой отрогов гор верховья р.Аламедин разделены на три бассейна – Алтын-Тора, собственно Аламедина и Ашуу-Тора. Особняком расположены бассейны, притоков Аламедина – Чункурчака и Салыка. Верховье

реки Аламедин представляет тогровую долину, а ниже становится узкой, шириной 30-40 м. Русло прижато к крутому левому склону долины. Здесь имеется горячий источник Жылуу-Суу (Теплые ключи). Далее река Аламедин пропиливает горы Шекули, где образует каньоновидное ущелье глубиной 200-300 м. В предгорьях река течет спокойно, образует широкую долину с террасовыми уступами; а ниже плотины – конус выноса.

Длина р.Аламедин 77 км, площадь водосборного бассейна 317 км². Среднегодовой расход воды больше, чем у р.Ала-Арча и равен 6,36 м³/с, максимальный – 27,9 м³/с, минимальный – 0,88 м³/с.

Чуйская долина представлена около 70 реками, дренирующими склоны гор. Все реки Чуйской долины типичные горные потоки, отличающиеся большой скоростью, бурные, несут огромное количество песчаной взвеси, а при выходе на равнину приобретают характер равнинных рек. Некоторые из них имеют ярко выраженный пульсирующий характер. Средний многолетний годовой сток рек долины М.Н.Большаковым оценивается в 118,2 м³/с [27].

Некоторые реки обладают селевым режимом, причем интенсивность поступления наносов характеризуется, например, для р.Ак-Суу 0,004-7,6, для р.Сокулук – 0,004-4,77 и для р.Ала-Арча – 8,83-7,7 кг/с.

Реки Чуйской долины относятся к зоне со среднегодовой мутностью от 101 до 2250 мг/л. Повышенной мутностью отличаются р.Аламедин и нижнее течение р.Ала-Арча, где этот показатель достигает соответственно 270 и 1800 мг/л [15,16,17].

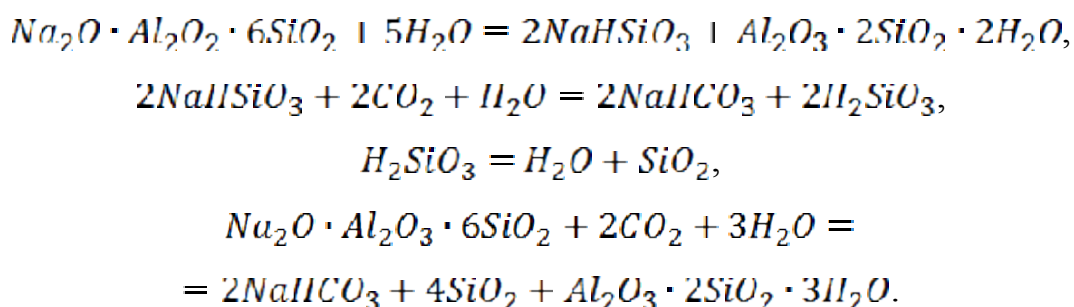
Обобщая многолетние исследования речных вод Чуйской долины В.К.Кадыров отмечает [107], что на реках шугоносность наблюдается только 16 суток в год, а около половины рек не имеют шуги.

Минерализация рек колеблется в широких пределах, например: Ала-Арча– 235 мг/л, Кара-Балта – 65, Аламедин – 265, Ак-Суу – 325, Арашан – 80 мг/л. Общая жесткость у 50% рек достигает 3 мг-экв/л, у остальных – 3-6 мг-экв/л. С ростом минерализации общая жесткость увеличивается за счет карбонатной

жесткости, а некарбонатная жесткость почти не изменяется. Содержание кислорода составляет от 5,3 до 8,3 мг O₂/л, насыщение – 80+112 %.

Из приведенных результатов анализа видно, что на формирование химического состава воды рек Чуйской долины оказывает влияние зональность климата, рельеф, сложность геологического строения и литологический состав пород и т.д. Это можно объяснить следующим образом. При сильном колебании температуры происходит непосредственно выветривание горных пород. При этом имеет место как физическое, так и химическое выветривание. Физическое выветривание обусловлено движением воды и перемещением горных пород, а химическое – действием угольной кислоты и кислорода на породы.

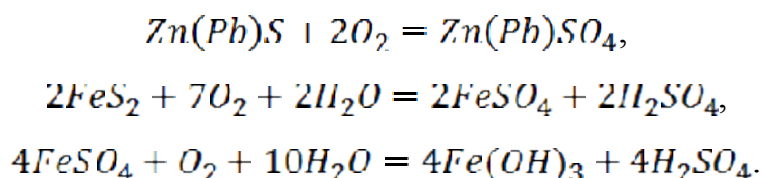
Основной химический состав поверхностных вод Чуйской долины определяется ионами HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и K^+ . Накопление этих ионов в воде можно описать, с учетом предположения В.К.Кадырова [107], следующим образом. Процесс выветривания прочных кристаллических пород (граниты, гнейсы, базальты, полевые шпаты и др.) протекает по схеме расположения алюмосиликатов и, в частности, полевых шпатов на примере альбита []:



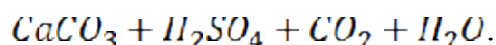
По этой же схеме происходит процесс выщелачивания ортоклаза и апатита, в результате чего образуются $KHCO_3$ и $Ca(HCO_3)_2$.

Накопление в горных реках отмеченных анионов и катионов можно объяснить растворением различных горных пород. В воде гидрокарбонатные ионы появляются с атмосферными осадками и вследствие растворения карбонатных горных пород. Как известно, в водной среде при 25°C $PP_{CaCO_3} = 4,8 \cdot 10^{-9}$, $аPP_{MgCO_3} = 4 \cdot 10^{-5}$ [18].

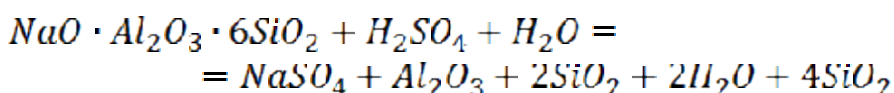
Одним из первичных процессов образования сульфат-иона в воде рек в условиях высокогорной зоны является окисление сульфидных соединений, широко распространенных на Тянь-Шане. Продукт их окисления:



Образующаяся при этом серная кислота взаимодействует с горными породами, особенно карбонатами, растворяя их с выделением CO_2 :



Серная кислота также способствует разрушению силикатных пород:



Аналогично можно представить процесс разрушения апатита с образованием сульфатов в растворе.

Вторичным процессом образования сульфатов является растворение осадочных пород, в составе которых имеется гипс – $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Гипсоносные породы на Тянь-Шане развиты широко, благодаря чему эту область следует считать провинцией сульфатных вод. Повышенное содержание сульфатов отмечается в грунтовых и других подземных водах [34].

Содержание SO_4^{2-} в речных водах лимитируется содержанием Ca^{2+} ионов. Эти два иона образуют сравнительно малорастворимый осадок $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ или $CaSO_4 \cdot 1/2 H_2O$, произведение растворимости которых соответственно равно $3,74 \cdot 10^{-5}$ и $1,3 \cdot 10^{-4}$ [18]. Хлор-ион в воде накапливается в результате растворения хлоридов из осадочных пород. Отсутствие в рассматриваемом районе соленосных отложений и хорошая промытость почвы в верхних водоносных горизонтах обуславливают появление хлор-иона в воде рек за счет атмосферных осадков и из продуктов выветривания коренных пород. В них хлориды содержатся в рассеянном состоянии, главным образом в виде хлорапатита $Ca_5(PO_4)_3Cl$ и содалита $3NaAlSi_3O_8 \cdot NaCl$.

Сравнение концентрации ионов Na^+ и Cl^- (в мг-экв), содержащихся в речных водах Чуйской долины, свидетельствует, что концентрации ионов Na^+ больше, чем Cl^- . Это указывает на то, что происхождение ионов $Na^+(K^+)$ в воде связано с процессами выветривания горных пород.

Изменения этих показателей для различных вод являются сходными и зависят от времени года. Крутизна линий зависит от периода времени и описывается процессом таяния снега и ледников. Время паводков совпадает с периодом интенсивного поступления талых вод. Талые воды являются пресными и в ходе движения по руслу не успевают обогатиться растворенными горными породами. Результаты анализа физико-химических показателей воды четырех рек, находящихся в Чуйской долине и берущих свое начало у ледников и снежных залежей.

В число обязательно контролируемых качественных показателей воды включены только те, значение которых в последние 10-20 лет возросло, что свидетельствует об ухудшении качества речных вод за счет антропогенных воздействий.

Качество речных вод Чуйской долины определяется в основном тем, с какими горными породами они сталкиваются в процессе своего движения. По течению рек качество воды изменяется в зависимости от антропогенных воздействий и при этом определяющим фактором является сброс сточных вод [2]. В общем, речные воды Чуйской долины относятся к натриево-бикарбонатно-калиевому классу. Однако физико-химические показатели речных вод, которые могут быть использованы в качестве источника водоснабжения во многом зависят от того, сталкивается ли поток воды с комковато-пылеватый гумусовый горизонт (переходящий в хрящеватый суглинок) почвы (русло и побережье реки). Аналогичные участки русла реки могут меняться по ее длине. Такая системная топология в процессе формирования качества воды в реках предгорной зоны Чуйской долины характерны для р.Аламедин и отдельных притоков р.р. Чу, Ак-Суу и Ала-Арча.

Качество отдельных речных вод предгорной зоны Чуйской области представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Качественные показатели речных вод

№№ п/п	Качественные показатели речной воды	Ед. изм.	Р.Кара- Балта	р.Ак-Суу	р.Аламедин	р.Чу
1	Запах	баллы	1	1	1	1
2	Цветность	градус	25,5	22,8	15-23,0	32,8
3	Водородный показатель	РН	7,5	7,8	6,8	7,5
4	Содержание взвешенных веществ	м/л	80-1960	60-1580	80-2200	129- 1550
5	Жесткость	мг-экв/л	5,3	3,7	4,3	4,7
6	Общая минерализация (сухой остаток)	мг/л	780	620	580	730
7	Нефтепродукты (суммарно)	мг/л	0,08	0,15	0,25	0,34
8	Окисляемость перманганатная	мг/О ₂ /л	6,2	5,7	19	5,8
9	БПК ₅	мг/дм ³	1,4	1,9	12	5,8

В то же время, возрастание содержания взвешенных и органических веществ, в отдельных речных водах, расположенных ниже населенных пунктов, по сравнению с качественными показателями створов рек выше населенных пунктов ведет к тому, что дополнительное загрязнение по БПК₅ составляет 1,1+1,9 раза (2,2-7,8 мгО₂/л), по ХПК – от 1,2 до 3,4 раза (7-62 мгО₂/л) и по взвешенным веществам – от 1,1 до 3 раз (110-800 мг/л). Более того, загрязнение вод нефтепродуктами и ионами тяжелых металлов носит систематический характер, их установленные ПДК превышают до 19 раз. В загрязнении воды ионами железа, различными смолами и асфальтенами, СПАВ и фенолом стабильного процесса не наблюдается, их содержание ниже принятых ПДК.

Органолептические показатели безопасности и качества питьевой воды приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2 – Органолептические показатели безопасности и качества питьевой воды

№№ п/п	Наименование показателей	Единицы измерения	Нормативы для питьевой воды		
			водопроводной	из колодцев и каптажей источников	фасуемой из пунктов розлива и бюветов
1	2	3	4	5	6
1. Органолептические показатели					
1.	Запах:	баллы			
	при 20° С		<2	<3	<0 (2)4
	при 60° С		<2	<3	<1 (2)4
2.	Цветность	градусы	<20 (35)1	<35	<10 (20)4
3.	Мутность	нефелометрическая единица мутности	<1,0 (3,5)1	<3,5	<0,5 (1,0)4
		(1 НОК =0,58 мг/л)	<2,6 (3,5)1 – для подзем- ного водоисточника		
4.	Вкус и привкус	баллы	<2	<3	<0 (2)4
2. Физико-химические показатели					
5.	Водородный показатель	единицы Ph	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
					(и 4,5)5
6.	Диоксид углерода	%	не определяется	не определяется	0,2-0,3 – для слабо газир.
					0,31-0,4 – для средне газир.
					0,41-0,6 – для сильно газир.

Продолжение таблицы №1.2

1	2	3	4	5	6
а) неорганические показатели					
7.	Железо общее	мг/л	<0,2 (1,0)1	<1,0	<0,2
8.	Общая жесткость	мг/л	<7,0 (10,0)1	<10,0	<7,0
9.	Общая щелочность	мг/л	не определяется	не определяется	<6,5
10.	Йод	мг/л	не определяется	не определяется	<50
11.	Кальций	мг/л	не определяется	не определяется	<130
12.	Магний	мг/л	не определяется	не определяется	<80
13.	Марганец	мг/л	<0,05 (0,5)1	<0,5	<0,05
14.	Медь	мг/л	<1,0	не определяется	<1,0
15.	Полифосфат	мг/л	<3,5	не определяется	<0,6 (3,5)4
16.	Сульфаты	мг/л	<250 (500)1	<500	<250
17.	Сухой остаток	мг/л	<1000 (1500)1	<1500	<1000
18.	Хлоростаточный свободный	мг/л	<0,5	<0,5	< 0,05
19.	Хлориды	мг/л	<250 (350)1	<350	<250
20.	Цинк	мг/л	<1,0	не определяется	<1,0
б) органические показатели					
21.	Хлоростаточный свободный	мг/л	<1,2	<1,2	< 0,05

Радиационная безопасность питьевой воды определяется погранично допустимым уровням суммарной объемной активности альфа- и бета-излучений (естественных), приведенных в табл. 1.3. В случае превышения этих уровней следует провести изучение радионуклидного состава исследуемых проб воды относительно его соответствия нормам радиационной безопасности.

Таблица 1.3 – Показатели радиационной безопасности питьевой воды

№№ п/п	Наименование показателей	Единицы измерений	Нормативы
1.	Общая объемная активность альфа излучателей	Бк/л	0,1
2.	Общая объемная активность бета излучателей	Бк/л	1,0

Показатели физиологической полноценности питьевой воды определяют адекватность ее минерального состава биологическим потребностям организма. Они основаны на целесообразности для ряда биогенных элементов перечня не только максимально допустимых, но и минимально необходимых уровней их содержания в воде. Исследование показателей, характеризующих физиологическую полноценность питьевой воды, рекомендуется проводить в объеме, приведенном в табл. 1.4.

Таблица 1.4 – Показатели физиологической полноценности минерального состава питьевой воды

№№ п/п	Наименование показателей	Единицы измерений	Рекомендованные значения
1.	Минерализация общая	мг/л	Не меньше 100,0 Не больше 10000,0
2.	Жесткость общая	мг/л	Не меньше 1,5 Не больше 7,0
3.	Щелочность общая	мг/л	Не меньше 0,5 Не больше 6,5
4.	Магний	мг/л	Не меньше 10,0 Не больше 80,0
5.	Фтор	мг/л	Не меньше 0,7 Не больше 1,5

Из выше изложенного видно, что природная вода представляет собой многокомпонентную динамическую систему, в состав которой входят газы, минеральные и органические вещества, находящиеся в истинно растворенном, коллоидном и взвешенном состояниях, а также микроорганизмы.

Вещества минерального и органического происхождения присутствуют, в воде во всех видах дисперсного состояния. В грубодисперсном (взвешенном) состоянии находятся глинистые, кварцевые, известковые и гипсовые частицы, ряд веществ природного и растительного происхождения; в коллоидном – частицы глин, соединения кремния и железа, сера, продукты жизнедеятельности и распада микроорганизмов, гуминовые вещества; в истинно растворенном – газы, неорганические соли щелочных, щелочноземельных и тяжелых металлов, ряд органических соединений, а также бром, йод и др. [10, 39, 59].

Количество минеральных солей в водоисточниках зависит от способа образования последних и колеблется в широких пределах: от 30 до 2000 мг/л. В большинстве случаев состав природных вод определяется катионами $Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}$ и анионами HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^- . Катионы $H^+, NH_4^+, Cu^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+}, Fe^{2+}, Al^{2+}$ и др. и анионы $OH^-, CO_3^{2-}, NO_3^-, NO_2^-, F^-, Br^-, I^-, HPO_4^{2-}, HSO_4^-, HSiO_3, CO_2^-, HSi$ и др. в природной воде содержатся в незначительных количествах, однако их влияние на свойства и качество воды также очень велико.

Поскольку в природных водах в больших количествах присутствуют в основном семь ионов, О. А. Алекин [66] предложил классифицировать эти воды в зависимости от преобладающего катиона или аниона. Согласно его классификации природные воды по преобладающему аниону делятся на три класса: гидрокарбонатные, сульфатные и хлоридные. Каждый класс по преобладающему катиону ($Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+$) делится на три группы: кальциевую, магниевую и натриевую. В свою очередь в этих группах различают три типа вод, определяемых следующими соотношениями:

$I - \text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}; \quad II = \text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- \text{SO}_4^{2-};$
 $III - \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}.$ Использование этой классификации позволяет выяснить происхождение природных вод и охарактеризовать их свойства.

Органические вещества, содержащиеся в природных водах, весьма разнообразны. Основную часть их составляют гуминовые соединения, определяющие цветность природных вод. Гуминовые вещества – это высокополимерные соединения циклического строения, состоящие главным образом из углерода, водорода и кислорода. Их можно представить как совокупность отдельных звеньев, содержащих бензольные, нафталиновые, фурановые ядра, кислородные мостики и функциональные группы (COOH и OH) [13, 60]. В природных водах гуминовые соединения представлены фульвокислотами и гуминовыми кислотами, а также их солями.

Наличие различных примесей в воде характеризуется физико-химическими показателями воды, такими как запах, вкус, мутность, цветность, сухой остаток, ионная сила раствора, электрическая проводимость, Рн и др. [34, 53, 54].

Многообразие присутствующих в воде примесей и загрязнений требует научно обоснованной их классификации, позволяющей объединить их по признаку общих свойств в отдельные группы. Классификация, предложенная Л. А. Кульским, основана на общности физико-химических характеристик примесей, находящихся в водных средах, т.е. на их способности образовывать гомогенные и гетерогенные водные системы. При такой классификации загрязнений выбор методов их удаления определяется физическим состоянием примесей, в случае гетерогенных систем – их дисперсностью [96, 98].

Сущность классификации заключается в том, что все примеси воды по отношению к дисперсионной среде разделены на четыре группы. Примеси первых двух групп (кроме высокомолекулярных соединений) образуют

термодинамически неустойчивые гетерогенные системы, а двух других – термодинамически равновесные и обратимые гомогенные системы.

Первая группа представляет собой нерастворимые примеси с размерами частиц $10^{-5} - 10^{-3}$ см, образующие с водой суспензии, эмульсии или пены. Эти примеси обуславливают мутность воды, в некоторых случаях могут придавать ей цветность. В их состав входят глинистые вещества, карбонатные породы, ил, мелкий песок, малорастворимые гидроксиды металлов, взвеси органических веществ и т.д. Системы, образованные примесями первой группы, кинетически неустойчивы. Нерастворимые вещества удерживаются во взвешенном состоянии динамическими силами потока воды. В состоянии потока взвеси седиментируют.

Вторая группа примесей объединяет гидрофильные и гидрофобные минеральные и физико-минеральные коллоидные частицы почв и грунтов, недиссоциированные и нерастворимые формы высокомолекулярных гуминовых веществ и детергенты. Кинетическая устойчивость гидрофобных примесей характеризуется соотношением сил гравитационного поля и броуновского движения; агрегативная устойчивость их обусловлена электростатическим состоянием межфазовой поверхности и образованием на ней диффузных или созданием стабилизирующих слоев.

Третья группа примесей включает молекулярно-равновесные соединения – газы, органические вещества, как биологического происхождения, так и вносимые промышленными и хозяйственно-бытовыми стоками.

Четвертая группа примесей включает электролиты – вещества с ионной или сильнополярной связью, которые под влиянием полярных молекул воды распадаются на ионы. Кристаллические структуры этих веществ разрушаются главным образом в результате процесса гидратации. Для катионов наиболее характерно ион-дипольное взаимодействие при гидратации, для анионов со значительным отрицательным зарядом или малым радиусом – присоединение молекул воды за счет образования водородных связей.

В технологических схемах предусматривают комплекс очистных сооружений, в которых осуществляется удаление веществ, относящихся обычно к нескольким группам данной классификации. Поэтому при составлении схем водообработки следует выбирать методы и режимы, дающие наиболее эффективный результат по каждой из таких групп. Желательна предварительная лабораторная проверка и сравнительная технико-экономическая оценка нескольких вариантов [124, 127].

Существовавшие ранее представления об удалении из воды коллоидных примесей, как о взаимной коагуляции последних с противоположно заряженными полями гидроокисей металлов либо как об электролитной коагуляции, не соответствовали наблюдаемым эмпирическим фактам, сущность которых могла быть объяснена только учетом превалирующей роли сорбционных взаимодействий. Комплексное изучение этих вопросов позволило прийти к однозначному выводу, что удаление из воды коллоидных веществ достигается путем их сорбции на развитой поверхности коагелей, оседающих под действием растворенных в воде электролитов. При осветлении мутных вод частицы твердых взвесей уносятся в результате адгезионного связывания выпадающей в осадок гидроокиси, образовавшейся при гидролизе коагулянта.

В соответствии с требованиями СнИП 2.04.02-84* метод обработки воды, комплекс и расчетные параметры очистных сооружений и расчетные дозы реагентов надлежит устанавливать в зависимости от качества воды в источнике водоснабжения, ее назначения, производительности станции и местных условий, на основании данных технологических исследований и эксплуатации сооружений, работающих в аналогичных условиях.

1.2. Анализ технологических схем и установок, используемых для подготовки питьевой воды

В этом разделе исследования направлены на получение питьевой воды из речных вод, качество которых приведено в таблице 1.1.

Для осветления и обесцвечивания воды, т.е. для удаления из нее взвешенных и коллоидных примесей, обуславливающих ее мутность и цветность, на современных водоочистных станциях используют два основных технологических процесса: осаждение и фильтрование. При осаждении взвешенные вещества выпадают в осадок. При фильтровании частицы взвеси задерживаются на поверхности или в порах пористой среды, через которую пропускается очищаемая вода. Процесс осаждения осуществляется в отстойниках, процесс фильтрования – на фильтрах [119, 124, 126].

Осаждение частиц взвеси происходит под действием силы тяжести самих частиц без дополнительной затраты внешней энергии. В этом состоит важное преимущество метода осаждения.

Скорость осаждения взвеси зависит от размера и плотности частиц. С уменьшением размера и плотности скорость их осаждения быстро уменьшается, а время, необходимое для осаждения, увеличивается. Соответственно увеличиваются и размеры отстойников [21].

Фильтрованием можно получить любую степень осветления воды вплоть до практически полного извлечения из нее всей взвеси.

Последовательное осуществление сначала осаждения, а затем фильтрования во многих случаях дает наилучшие результаты [29].

Для ускорения процессов осаждения и фильтрования, и повышения эффекта осветления и обесцвечивания применяют химическую обработку воды. В связи с этим технология осветления и обесцвечивания дополняется рядом вспомогательных технологических процессов, которые в совокупности называются коагулированием воды. Оно состоит из следующих технологических процессов: заготовки и дозирования химических реагентов, смешения их с обрабатываемой водой, коагуляции взвешенных и коллоидных примесей [33].

Заготовку и дозирование реагентов выполняют в специальной аппаратуре, размещаемой в реагентном цехе.

Реагенты смешиваются с обрабатываемой водой в смесительных устройствах.

Совокупность тех или иных технологических процессов составляет технологическую схему осветления и обесцвечивания воды с определенным составом водоочистных сооружений [102].

Применяемые в настоящее время технологические схемы можно классифицировать [31, 37, 124]:

- по степени осветления обрабатываемой воды;
- по методам обработки воды;
- по количеству применяемых технологических процессов и количеству ступеней каждого из них;
- по характеру движения обрабатываемой воды.

Применяемые для глубокого осветления воды технологические схемы без химической обработки воды и с химической обработкой существенно различаются по размерам водоочистных сооружений и условиям их эксплуатации [50].

Анализ проектных и эксплуатационных материалов очистных сооружений водопровода позволил установить, что наибольшее распространение получили следующие технологические схемы осветления и обесцвечивания воды [124, 129]:

- схема, предусматривающая двухступенчатую обработку воды с коагуляцией примесей, в свободном объеме (камеры реакции, отстойники, фильтры);
- схема, предусматривающая двухступенчатую обработку воды с коагуляцией примесей, в стесненном объеме взвешенного осадка (осветлители с взвешенным осадком, фильтры);
- схема с одноступенчатой обработкой воды и использованием контактной коагуляции.

На рис. 1.1 показана широко распространенная схема для глубокого

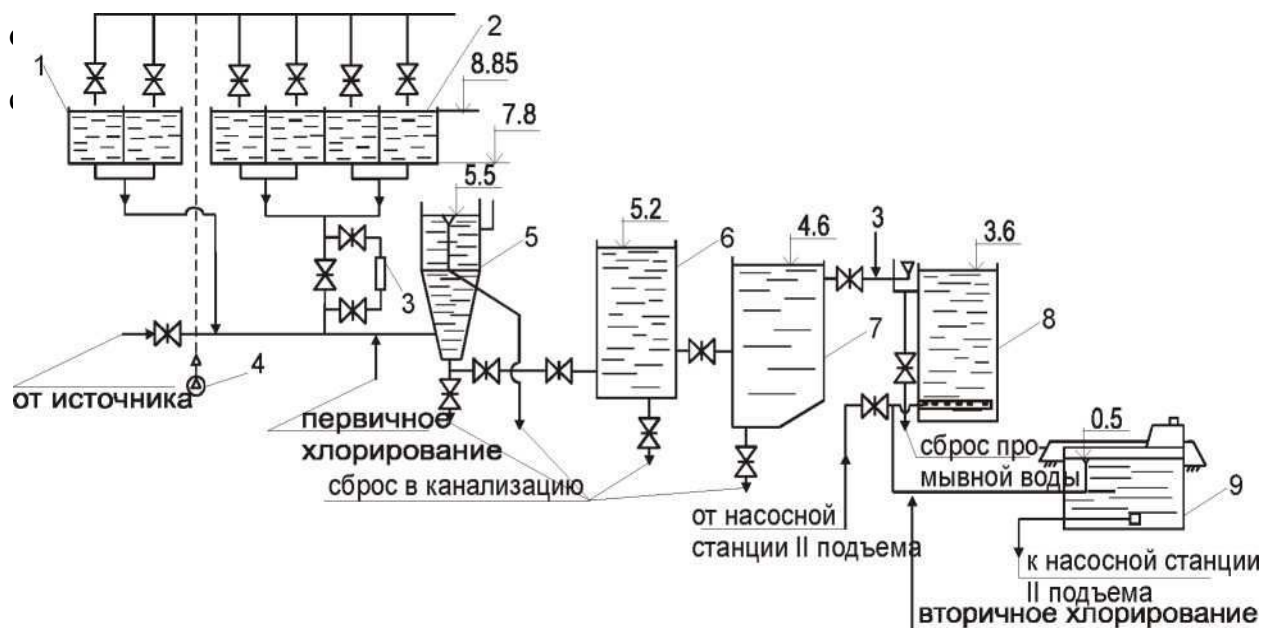


Рис.1.1 Технологическая схема очистки воды с указанием места ввода активированных реагентов в комплексе очистных сооружений, включающих отстойник и фильтры: 1 – баки известкового молока; 2 – баки раствора коагулянта; 3 – активатор реагентов; 4 – воздуходувка; 5 – смеситель; 6 – камера реакций; 7 – отстойник; 8 – фильтр; 9 – резервуар чистой воды

На рис.1.2 изображена схема для глубокого осветления воды с применением коагулирования, осветления в слое взвешенного осадка и фильтрования. Вместо камеры хлопьеобразования и отстойников (рис. 1.1) в данной схеме вода проходит через осветлители со взвешенным осадком. В этих сооружениях также происходят коагуляция, образование хлопьев и их осаждение. Однако благодаря хорошему контакту поступающей в осветлители воды с ранее образовавшимися хлопьями процесс коагуляции протекает в этих сооружениях быстрее и полнее.

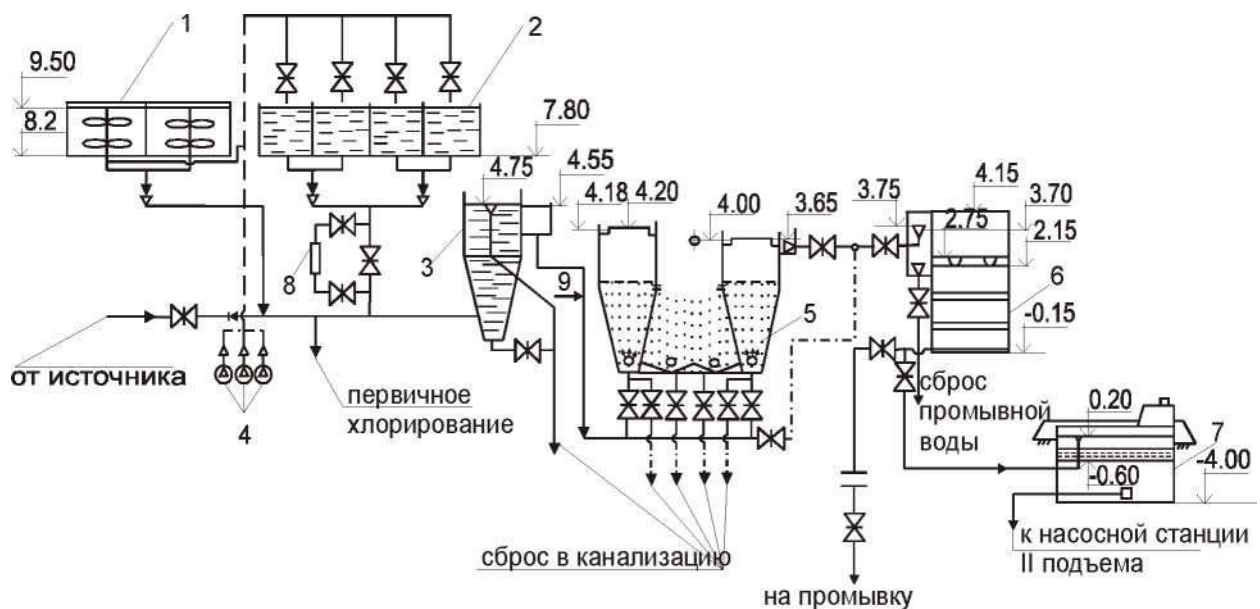


Рис.1.2 Технологическая схема очистки воды с указанием места ввода активированных реагентов в комплексе очистных сооружений, включающих осветители со взвешенным осадком: 1 – баки известкового молока; 2 – баки раствора коагулянта; 3 – смеситель; 4 – воздуходувка; 5-осветители; 6-фильтр; 7-резервуар чистой воды; 8-активатор реагентов; 9-ввод активированного раствора коагулянта

На рис.1.3 показана схема для глубокого осветления воды с применением контактных осветлителей.

По этой схеме вода после смешения с химическими реагентами поступает на контактные осветлители, в которых полностью освобождается от взвешенных и коллоидных примесей.

В контактных осветлителях процесс коагулирования сочетается с процессом фильтрования. Однако и здесь не простое совмещение разнородных процессов в одном сооружении. В контактных осветлителях вода движется через слой зернистого материала, обычно – через слой песка и гравия.

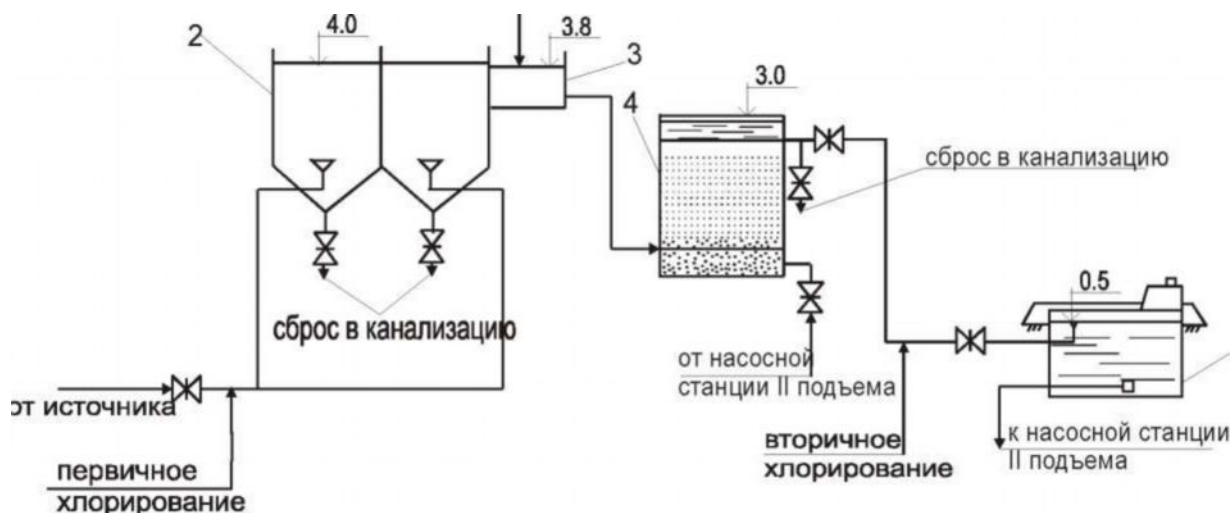


Рис.1.3 Технологическая схема очистки воды с указанием места ввода активированных реагентов в комплексе очистных сооружений, включающих контактные осветлители: 1 – баки раствора коагулянта; 3 – активатор реагентов; 4 – воздуходувка; 5 – входная камера; 6 – дырчатый смеситель; 7 – контактный осветлитель; 8 – РЧВ

Высотная схема очистных сооружений при использовании контактных осветлителей, как видно из рис. 1.3, имеет одну существенную особенность. Необходимый для работы контактных осветлителей напор для преодоления сопротивлений трубопроводов на участке от контактных осветлителей до резервуаров создается за счет разности уровней воды между контактными осветлителями и резервуарами с чистой воды.

Одно из основных требований, предъявляемых к водоочистным станциям: надежность и бесперебойность их работы, что в значительной степени может быть достигнуто использованием в процессах очистки воды активированных растворов реагентов, и в частности, для подготовки питьевой воды активированного раствора коагулянта – сульфата алюминия.

Для реального представления об эффективной технологической схеме обработки воды на установках заводского изготовления необходимо рассмотреть особенность каждого технологического процесса.

Осаждение взвеси может быть свободным (падение отдельной частицы) и стесненным. Свободное осаждение взвеси наблюдается при падении отдельной частицы в бесконечно большом объеме жидкости.

Отдельная частица, опускаясь на дно отстойника, проходит за отрезок времени dt некоторый путь dy со скоростью, равной гидравлической крупности частицы u :

$$dt = \frac{dy}{u} \quad (1.1)$$

Гидравлическая крупность u – это скорость осаждения частицы, принятая для определенной температуры воды. Одновременно частица имеет и поступательное движение по направлению основного потока в отстойнике. Вдоль отстойника частица проходит некоторый путь dx со скоростью, равной средней скорости потока v (равенство принимается с известным приближением). В этом случае

$$dt = \frac{dx}{v} \quad (1.2)$$

Из формул (1.1) и (1.2) получим:

Если учесть, что координаты x и y направлены соответственно по длине отстойника L по глубине h , то после преобразований получим уравнение траектории движения частицы:

$$ux - (h - y) \cdot v = 0 \quad (1.3)$$

В общем случае горизонтальная составляющая скорость перемещения частицы является функцией координат x и y :

$$V = f(x \cdot y) \quad (1.4)$$

В первом приближении считаем, что величины скоростей v и u не являются функциями координат.

Тогда уравнение (1.4) будет выражать прямую, отсекающую на осях координат отрезки: h при $L = \frac{hv}{u}$ при $y = 0$. Расстояние L – это путь, пройденный частицей при равномерном движении потока:

$$L = \frac{hv}{u} \quad (1.5)$$

Основные параметры осаждения взвеси в горизонтальном отстойнике можно описать с помощью следующего выражения:

$$\frac{u}{v} = \frac{h}{l} \quad (1.6)$$

откуда наименьшая гидравлическая крупность

$$u = \frac{v \cdot h}{l} \quad (1.7)$$

где l – длина отстойной части, на которой осядет мельчайшая частица, м; h – глубина воды в отстойнике, м.

Взвешенные вещества поверхностных источников водоснабжения состоят из частиц различного размера и веса. Поэтому значения l будут различны: от l_{min} до l_{max} . Соотношение $\frac{l_{max} \cdot l_{min}}{l}$ будет характеризовать процесс рассредоточения частиц при осаждении, вызываемого их неоднородностью.

На практике восходящие течения жидкости являются одной из причин снижения скорости падения группы частиц по отношению к скорости падения отдельной частицы. Кроме того, при стесненном падении сила вытеснения, действующая по закону Архимеда на отдельную частицу, возрастает, а вес самой частицы в жидкости уменьшается. Установлено, что коэффициент сопротивления отдельной частицы в условиях стесненного падения увеличивается. Гидравлическая крупность зерен при их свободном падении всегда больше средней скорости стесненного осаждения. Разность этих скоростей зависит от концентрации частиц в слое осаждения [90, 94, 96].

Обычно механическими примесями природных вод являются мелкодисперсные частицы глины, песка, гидраты окиси алюминия и железа, а также органические вещества, обуславливающие цветность. Эти частицы нельзя удалить даже длительным отстаиванием и фильтрованием, поскольку они являются коллоидальными загрязнениями, практически не поддающимися осаждению. Размеры их составляют от 4 мкм до 1 мк. Удаляют такие частицы из воды только коагуляцией, когда перед отстаиванием в воду вводят реагенты-коагулянты. В качестве традиционных коагулянтов – соли многовалентных катионов можно использовать природные полиактивные каолины. В Кыргызской Республике такими каолинами являются Ноокатские каолины [98].

Процесс осаждения взвеси в условиях движущегося потока резко отличается от статических условий. Полидисперсная коагулированная взвесь

при движении потока или укрупняется, или разрушается, т. е. ее фракционный состав в этом случае не является постоянным, установившимся. Рассматривая вопрос о стесненном осаждении взвеси в процессе сгущения частиц при коагуляции в потоке движущейся жидкости, некоторые авторы отмечают влияние гидродинамической пульсации на осаждение коагулированной взвеси.

На процесс осаждения коагулированной взвеси определяющее влияние оказывает формирование хлопьев коагулянта. В связи с этим большое значение приобретают камеры хлопьеобразования, непосредственно примыкающие к отстойникам [25, 58].

Для осаждения мельчайших частиц применяют химические реагенты – коагулянты, роль которых заключается в том, что они образуют хлопья, сорбирующие частицы взвеси и способствующие их осаждению. В результате этого происходит процесс агломерации хлопьев, т. е. их объединение и укрупнение [37, 42].

Коагулированием воды не всегда достигается необходимая степень обесцвечивания, снижения окисляемости и обезжелезивания воды. В этом случае целесообразно применять дополнительно к коагулированию обработку воды флокулянтами (АК, ПАА) и окислителями: хлор, озон, перманганат калия. Большое значение в практике водоочистки имеет применение в качестве сорбента активированного угля.

На подавляющем большинстве очистных станций применяется хлорирование. С целью предотвращения образования при первичном хлорировании канцерогенных соединений возможна замена, при технико-экономическом обосновании [30, 46, 51, 106].

В технологии подготовки питьевой воды завершающей стадией является использование процесса фильтрования. Вопросы по теории фильтрования малоконцентрированных суспензий достаточно полно освещены в трудах Д. М. Минца, Л. С. Лейбензона, Н. Н. Павловского, С. А. Шуберта и других исследователей [31, 55, 87].

Установлено, что при фильтровании воды на скорых фильтрах справедлив линейный закон, т. е. имеет место ламинарный режим движения воды, критические значения чисел Рейнольдса, определяющие границу применимости закона фильтрации $Re = 2$ [56, 101, 106].

В зависимости от качества очищенной воды, требуемой степени ее осветления и производительности установок распространения получили следующие типы фильтров [43,121,126].

Одним из них являются фильтры с зернистой загрузкой, в которых в качестве фильтрующей среды используют слой из зерен различных материалов; зерна величиной от 0,3 до 2 мм, высота слоя из зерен различных материалов 0,5 до 2 м. В качестве фильтрующей загрузки применяются самые разнообразные природные и искусственные материалы: кварцевый песок, дробленый антрацит, дробленый керамзит и т.п.

В системах городского водоснабжения наиболее распространены фильтровальные сооружения и устройства с зернистыми загрузками. Ввиду относительной простоты регенерации фильтрующего слоя из зернистых материалов, а также из-за меньшего, по сравнению с другими типами фильтров, необходимого давления для пропуска воды через фильтрующую среду при одновременном достижении необходимой степени очистки воды, а также возможности очистки больших количеств воды.

К последним можно отнести, прежде всего, скорые фильтры, неизменным условием успешной работы которых является обязательная коагуляция воды перед ее фильтрованием. Коагуляция воды позволяет образовывать агрегативно устойчивые частицы взвеси, что дает возможность эффективно осуществлять очистку воды [52,54]. Для скорых фильтров нормальным процессом считается процесс, когда взвешенные частицы откладываются в толще фильтрующей среды. Глубина проникания задерживаемых частиц зависит от их характера, скорости фильтрования и крупности зерен фильтрующей среды. Скорые фильтры могут выполняться как открытыми, так и в напорном варианте.

Эффективность работы сооружений по фильтрованию воды определяется не только их конструктивными особенностями и гидравлическими условиями, но физико-химическими и структурно-механическими свойствами взвеси, задерживаемой в порах загрузки. Улучшение этих свойств – одна из основных задач повышения эффективности процесса фильтрования воды. В последние годы для улучшения структурно-механических свойств взвеси широко применяют флокулирование воды непосредственно перед фильтрами [96].

Исследования, выполненные авторами, позволяют утверждать, что эффективность фильтрования воды на очистных сооружениях водопровода можно повысить путем использования активированных растворов реагентов, что находит выражение как в улучшении технологических параметров работы фильтров, так и в повышении качества осветленной воды [47, 123, 124].

Технология обеспечения кондиционной водой, т.е. водой питьевого качества [29], во многом зависит от полезной производительности водоочистной станции [35]. Разнообразные качественные показатели и потребности водопотребителей на объемы кондиционной воды позволили решать эти вопросы в различных вариантах. Это стало результатом многолетних исследований [145].

Согласно информации Департамента развития питьевого водоснабжения и водоотведения Государственного агентства архитектуры, строительства и жилищно-коммунального хозяйства при Правительстве Кыргызской Республики основные водопотребители питьевой воды в Чуйской области населенные пункты или отдельно взятые промышленные предприятия, общая потребность которых составляет от 25 до 2000 м³/сут.

Технологические схемы подготовки воды на больших объемах были основаны на использовании традиционных водоочистных сооружений в уменьшенных размерах [132]. Однако такое решение проблем малых водопотребителей не дает требуемой степени надежной и дешевой организации водоснабжения объектов. Об этом свидетельствуют результаты исследований

профессоров Минца Д.М., Николадзе Г.И., Перлиной А.М., Корабельникова В.М., Абдурасулова И. и других [5,79,99,107].

Анализ опыта организации водоочистных сооружений небольшой производительности как в странах СНГ, так и дальнего зарубежья показывают, что в настоящее время наибольшее распространение получают водоочистные установки с технологическим оборудованием, основанным на индустриальных методах их изготовления [144]. При этом это оборудование должно быть изготовлено цельным или модулями (блоками), а также последовательно технологично работающим [7]. К этим водоочистным сооружениям предъявляются требования – возможность промышленного изготовления (серийно или индивидуально), транспортировки, простое обслуживание, надежность оборудования в эксплуатации, простота конструкции, варианты упрощенной автоматизации и высокая экономичность.

Повсеместное использование речных вод предгорной зоны Чуйской долины для водоснабжения небольших водопотребителей – преимущественно для водоснабжения населения сельских населенных мест вызывает необходимость исследования возможности широкого внедрения установок заводского изготовления. Из всех существующих водоочистных установок заводского изготовления особый интерес в научно-практическом направлении вызывают водоочистные установки типа «Струя» и «Керемет».

Согласно данным [13], особое внимание, в дальнейших исследованиях заслуживает то, что в качестве объекта исследования следует рассматривать речные воды предгорной зоны Чуйской долины, которые в своем формировании контактируют с горными породами с лесовидными суглинками и комковато-пылевидными гумусовыми отложениями, которыми насыщается вода, по мере изменения омываемой поверхности русла рек, т.е. сталкивается с горными породами (выветривание изверженных пород) содержащих гумусовые вещества и пылевидные частицы (минеральные, глинистые, растительные и нефтеобразующие).

О возможности и высокой эффективности модификации поверхности зерен загрузки путем формирования на ней пленки имеются сообщения различных авторов В. А. Клячко, Г. А. Рукавишников, В. М. Митягин, Н. З. Оводова, Sagoschen, Zevy, Bums, Baumann, Oulmann [18, 19, 64]. Известны три основных направления улучшения необходимых свойств зернистой загрузки: применение новых материалов (В. Н. Мартинсен, В. О. Орлов, А. М. Фоминых, М. Г. Журба, М. А. Андоньев и др.) [66, 75, 84]; специальная обработка кварцевых песков («посеребренные» пески Моисеева, «черные» пески, «железные» и т.д.); изменение молекулярной структуры поверхности фильтрующих зерен обработкой их различными реагентами без выгрузки их из фильтра. Периодическая модификация молекулярной структуры поверхности кварцевых зерен фильтрующей загрузки повышает грязеемкость последней, и увеличивает производительность осветляющих сооружений. Для модификации фильтрующих загрузок могут использоваться Al_2O_3 и другие коагулянты [37, 61, 62]. Другие исследователи по модификации фильтрующих загрузок позволили с минимальными затратами увеличить производительность станции водоочистки, улучшить качество фильтрата и снизить себестоимость очистки за счет сокращения расхода реагентов и увеличения скорости фильтрации. Сущность метода заключается в увеличении адгезионной способности фильтрующей загрузки обработкой ее раствором реагента. Процесс прилипания частиц взвесей с обычно отрицательным зарядом происходит интенсивнее к модифицированной загрузке, чем к немодифицированной.

Выводы по первой главе

1. Анализ литературных данных показывает, что снижение безопасности систем питьевого водоснабжения обуславливается следующими причинами:
 - уменьшением запаса воды;
 - ухудшением качества природных вод.

2. К основным мероприятиям, улучшающим экологическое состояние поверхностных источников водоснабжения, можно отнести следующие:

- очистка воды, которая образуется поверхностным стоком с селитебных территорий;
- улучшение состояния зон санитарной охраны;
- защита питьевых водозаборов от вредного влияния животноводческих, птицеводческих предприятий и других сельскохозяйственных объектов, которые являются потенциальным источником загрязнения воды;
- расчистка русел и укрепление берегов рек и дна водохранилищ;
- государственный мониторинг состояния водных объектов, которые используются в качестве источника водоснабжения.

3. Классификация примесей воды по их фазово-дисперсным состояниям, предложенная Л. А. Кульским, основана на общности физико-химических характеристик примесей, находящихся в водных средах, т.е. на их способности образовывать гомогенные и гетерогенные водные системы. При такой классификации загрязнений выбор методов их удаления определяется физическим состоянием примесей, в случае гетерогенных систем – их дисперсностью.

Прогрессивное значение такой классификации заключается еще и в том, что она дает возможность рассматривать все процессы водообработки с единых позиций, и, таким образом становится плодотворной основой как для создания науки о регулировании качества воды, так и для решения ряда инженерных задач по этой проблеме.

4. Технологические схемы очистки воды предусматривают комплекс очистных сооружений, в которых осуществляется удаление веществ, относящихся обычно к нескольким группам данной классификации. Поэтому при составлении схем водообработки следует выбирать методы и режимы, дающие наиболее эффективный результат по каждой из таких групп.

Конструктивное оформление принятой схемы определяется производительностью и составом проектируемых сооружений, рельефом и

гидрогеологией площадки, климатическими данными и возможностью создания зон санитарной охраны, а также технико-экономическими расчетами.

5. Анализ проектных и эксплуатационных материалов очистных сооружений водопровода позволил установить, что наибольшее распространение получили следующие технологические схемы осветления и обесцвечивания воды:

- схема, предусматривающая двухступенчатую обработку воды с коагуляцией примесей в свободном объеме (камеры реакции, отстойники, фильтры);

- схема, предусматривающая двухступенчатую обработку воды с коагуляцией примесей в стесненном объеме взвешенного осадка (осветлители с взвешенным осадком, фильтры);

- схема с одноступенчатой обработкой воды с использованием контактной коагуляции.

6. Процессы хлопьеобразования при коагулировании взвешенных веществ, содержащихся в воде, и осаждения их в отстойниках сложны и зависят от гидрологических и гидрогеологических факторов естественного водотока, а также от конструктивных элементов сооружений, их технологического и гидравлического режимов эксплуатации, гидрохимических и физических свойств примесей. Все эти факторы очень сложны и их изучение затруднено. Эти факторы необходимо учитывать при проектировании и строительстве очистных сооружений.

7. Задача улучшения технологического процесса осветления воды в осветлителях со взвешенным осадком сводится, в основном, к созданию оптимальных условий для получения крупных хлопьев с сильно развитой поверхностью и к сокращению времени их формирования.

Повысить эффективность работы осветлителей со взвешенным осадком целесообразно оптимизацией свойств контактной среды, чего можно достичь внедрением разработок в следующих направлениях:

- увеличение концентрации взвешенного осадка;

– улучшение физико-химических свойств контактной среды (гидравлическая крупность, удельный вес, объемная концентрация, силы сцепления частиц);

– повышение коагулирующей способности взвешенного осадка (изменение ζ -потенциала и адсорбционной емкости);

– оптимизация условий уплотнения избыточного осадка в осадкоуплотнителе;

– поиск возможности уменьшения доз вводимых коагулянтов.

8. Повышение эффективности работы фильтров очистных сооружений водопровода в настоящее время осуществляется, в основном, следующими способами:

– путем применения новых фильтрующих материалов с хорошо развитой удельной поверхностью зерен и большой пористостью загрузки;

– искусственным повышением активности поверхности зерен загрузки путем нанесения на нее активных молекулярных групп, увеличивающих положительный заряд потенциала поверхности;

– созданием фильтров с многослойной или неоднородной однослойной загрузкой, обеспечивающей фильтрованием высокомутных вод по убывающей крупности зерен при умеренном росте потерь напора;

– усовершенствованием сборно-распределительных систем фильтров, добиваясь одновременного повышения равномерности распределения промывной воды по площади фильтра, удешевления конструкции, повышения ее надежности и упрощения технологии монтажа;

– совершенствованием технологии промывки фильтров;

– предварительной обработкой воды, поступающей на зернистые фильтры, флокулянтами (полиакриламид, активированная кремнекислота и др.).

9. Рассмотрение опубликованных работ позволяет выделить следующие методы интенсификации процесса осветления:

– фильтрование в направлении убывающей крупности зерен загрузки, а также ее укрупнение с одновременным увеличением высоты слоя с целью снижения интенсивности прироста потерь напора за счет рассредоточения загрязнений в возможно большем объеме (наиболее удачно это реализуется в контактных осветлителях);

– применение различных способов предварительной обработки воды с целью увеличения плотности и прочности задерживаемых фильтром загрязнений, более равномерного их распределения в толще фильтрующего слоя;

– применение для загрузки зернистых материалов с высокой межзерновой пористостью и развитой удельной поверхностью.

Анализ существующих методов повышения эффективности работы очистных сооружений водопровода показывает, что весьма актуальным является разработка новых, более эффективных как по капитальным, так и по эксплуатационным затратам, методов, интенсифицирующих процессы контактной коагуляции.

ГЛАВА 2

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕТЛЕНИЯ ВОДЫ НА МОДЕЛИ ТОНКОСЛОЙНОГО ОТСТОЙНИКА

2.1. Аналитическая оценка использования процесса тонкослойного осаждения в практике выделения из воды повышенной концентрации взвеси

В основе многих технологических методов обработки природных вод от избыточных примесей лежат процессы осаждения, используемые для первой ступени очистки вод. В связи с этим, интенсификация процессов осаждения является актуальной задачей при обработке воды, в частности при осветлении поверхностных вод.

Среди методов интенсификации процессов осаждения, одним из наиболее перспективных для возможности использования в конструкциях заводских установок, является отстаивание в тонком слое. Теоретическое обоснование преимуществ использования методов отстаивания в тонком слое вытекает из теории технологического моделирования процесса осаждения [19,59].

Интерес к процессам тонкослойного осаждения возрос в связи с возможностью применения в конструкциях отстойников, в качестве модулей, новых антикоррозийных синтетических полимерных материалов, с минимальной шероховатостью: пластмасс, стекло–пластиков и др., обеспечивающих легкое сползание и удаление осадка с поверхности.

В настоящее время специалистами разработаны различные конструкции отстойников, работающих по принципу тонкослойного осаждения (тонкослойные), которые с успехом применяются в технологии очистки воды [6, 78, 79, 92, 115, 124, 132, 133, 138 и др.].

Современные модификации тонкослойных отстойников в технологии обработки воды, впервые были использованы в США [124, 138, 143, 144].

Авторами были проведены исследования по обработке подземной воды в г. Карвалис штата Аригон. Пилотная установка производительностью 500м³/сут включала реагентную обработку для корректирования Рн воды, механический флокулятор, тонкослойный отстойник горизонтального типа и многослойный фильтр.

Однако, результаты этих исследований не позволяют обосновать параметры работы тонкослойных отстойников малых установок, особенно для условий выделения высококонцентрированных глинистых и гумусовых веществ.

Из работ, посвященных исследованию процесса осаждения тонкослойным отстаиванием, следует отметить работу [115]. Автором были проведены исследования по осветлению концентрированных, более 500 мг/л, промышленных стоков. Результаты исследований показали высокую эффективность использования тонкослойных модулей в конструкции отстойника большой производительности, при обработке воды щелочными реагентами. В то же время установки по очистке поверхностных вод с применением тонкослойных отстойников получили широкое распространение в ряде стран [132, 133, 139].

На постсоветском пространстве трубчатые отстойники применительно для небольших станций осветления воды поверхностных источников водоснабжения, нашли конструктивное воплощение в водоочистных установках типа «Струя», которые обладают достаточно высокой надежностью в работе и характеризуются небольшой металлоемкостью и высокой компактностью [44, 79, 100].

По имеющимся данным [44, 78, 79], при осветлении с коагулированных суспензий открытых водоисточников, мутность отстоянной воды была не более 12 мг/л, а продолжительность цикла работы отстойника не менее 8 часов, что обеспечивалось скоростью движения воды в ячейках отстойника для цветных и мутных вод, соответственно, 8-12 и 9-14 м/ч, и продолжительностью пребывания 5-7,5 и 4,3-7 мин. Изменения диаметра трубок заполнителей в

диапазоне 18-50 мм на параметры работы отстойника существенно не влияли, при этом наибольший эффект удаления взвеси достигался при расположении трубчатых элементов под углом 45-60⁰ к горизонту, что обеспечивало наиболее оптимальный режим осаждение взвеси и беспрепятственное удаление осадка.

Следовательно, конструкция трубчатого отстойника водоочистой установки «Струя», может наиболее полно отвечать технологии осветления, на первой степени очистки, при удалении поверхностных вод от взвешенных веществ. Специфическое отличие этих установок - наличие встроенной камеры хлопьеобразования вихревого типа, которая создает возможность для рециркуляции взвешенного осадка. Возможно, это позволит интенсифицировать не только процесс хлопьеобразования, но также дальнейшую сорбцию органических веществ естественного происхождения на хлопьях взвесей, реагентных добавок.

Приведенные данные говорят о принципиальной возможности применения трубчатых отстойников для осветления рассматриваемых вод в качестве первой ступени очистки.

2.2 Лабораторные исследования процесса удаления примесей, содержащихся в речных водах

Изучение процессов осаждения с последующей коагуляцией в свободном объеме необходимо для оценки возможности осветления поверхностных вод отстаиванием воды.

В ходе выполнения лабораторных исследований были использованы общепринятые (рекомендованные АКХ им.К.Д.Панфилова и ВНИИ ВОДГЕО Российской Федерации и фундаментальные теоретические базы гидравлики, химии воды и технологический контроль работы водопроводных наружных сетей и сооружений. А также теория очистки воды [99].

Исследования проводились как на искусственно приготовленных растворах, так и на природных водах, содержащих взвешенные вещества.

Экспериментальные исследования тонкослойного (трубчатого) осветления на первом этапе включали лабораторные опыты на стенде с отдельными трубчатыми элементами, а в дальнейшем – испытания специальной экспериментальной модели трубчатого отстойника [107].

В процессе экспериментальных исследований были использованы практики [122], т.е. такие элементы могут быть изготовлены из гибких материалов, а также материалов достаточной жесткости. Для того чтобы обеспечить сползание взвеси в осадочную часть отстойника, которая оседает на поверхности тонкослойного отстойника, его элементам придается наклон к горизонту, составляющий порядка 45-60 градусов. Многочисленные исследования доказали, что естественное (под действием гравитации) разделение тонкодисперсных взвесей протекает значительно интенсивней в замкнутом объеме элементов, наклонённых в горизонтальной плоскости под 45-60 град., чем в открытых лотках. Так как турбулентный поток увеличивает «несущую» способность жидкости, внутри отстойника организуется ламинарное течение шламовых вод – для повышения степени их осветления.

Тонкослойные отстойники включали в себя пакет наклонных полок. Вдоль их плоскости двигалась жидкость, при этом твёрдые частицы задерживаются на пластинах и скатываются в осадкосборник. Сборник совмещался с камерой хлопьеобразования.

В состав экспериментальной лабораторной установки (рис.2.1) входили блок дозирования исходной (искусственно приготовленной) воды, а также дозаторы реагентов, камера хлопьеобразования (для реагентной схемы) и трубчатый элемент. Стенд – сборная металлическая рама – был закреплен на неподвижных опорах с помощью резиновых амортизирующих колец. На раме свободно размещали щиты с серией деревянных гнезд для трубок диаметром от 18 до 50 мм и длиной 1,5 м. В опытах использовались трубки из органического стекла, позволяющие одновременно производить визуальные наблюдения за характером отложения осадка и кинетикой перемещения его в трубчатых элементах. При изучении осветления воды в трубчатых отстойниках,

работающих по реагентной схеме, исходная речная или искусственно замутненная (зацвеченная) вода, обработанная заранее выбранной дозой коагулянта поступала в камеру хлопьеобразования, а затем уже «готовыми» хлопьями – непосредственно в трубчатые элементы. Приготовление искусственной мутной и цветной воды производили путем замутнения или зацвечивания водопроводной воды соответственно глинистой суспензией или торфяной вытяжкой. Камера хлопьеобразования гидравлического типа работала с образованием слоя взвешенных осадков.

Дозу коагулянта выбирали по стандартной методике (пробное коагулирование) с построением кривых осаждения взвеси.

Для предотвращения разрушения образующихся хлопьев взвеси, скорости потока во всех коммуникациях от камеры хлопьеобразования до трубчатых элементов не превышали 5-10 мм/с (регулирующая арматура на этих коммуникациях отсутствовала).

В выполненных сериях опытов изменяли либо качество воды, либо скорости потока (а следовательно производительность и продолжительность отстаивания) в трубчатых элементах.

В процессе исследований в качестве окислителя была использована: хлорная вода, которая была приготовлена из хлорной извести; в качестве щелочного реагента водный раствор технической соды; коагулянт, характеризовался как технический продукт – белый каолин Ноокатского месторождения концентрация его контролировалась по весу (концентрация) товарного продукта в воде.

В лабораторных опытах с осветлением суспензии без предварительной обработки ее коагулянтом-каолином была использована аналогичная методика. Состав исходной суспензии выбирали в соответствии с данными предварительного статистического изучения гранулометрического состава взвеси, характерной для природных вод. В этой серии опытов исходная вода, минуя камеру хлопьеобразования, поступала по коммуникациям непосредственно на стенд с трубчатыми элементами. В процессе опытов

изменяли скорости потока, расход воды, продолжительность ее пребывания в трубках.

В опытах по осветлению скоагулированных суспензий были использованы различные воды по составу, характеристика которых приведена в табл.2.1, также в ней приведены результаты для опытной серии опытов с трубками диаметром 26 мм (рис.2.1).

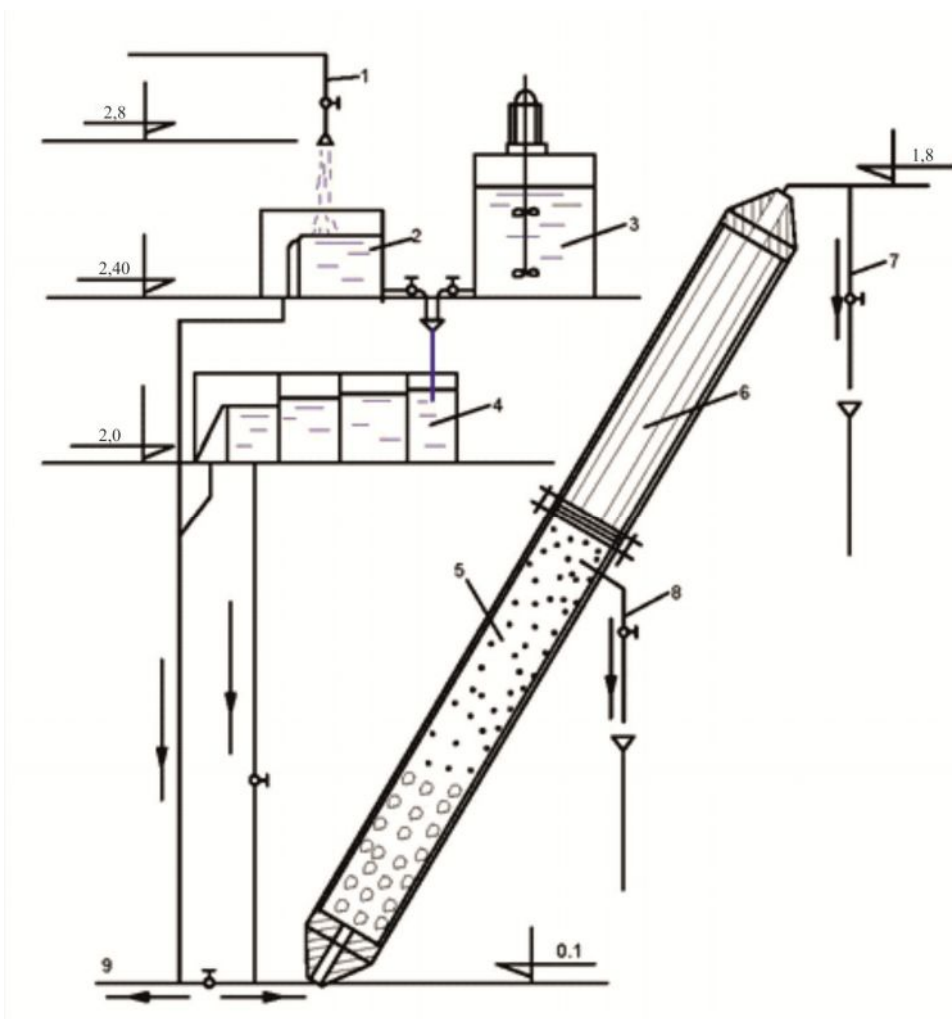


Рис.2.1 Принципиальная схема (устройства и работы) модели трубчатого отстойника.

1 – исходная вода; 2 – переливной бачок; 3 – реагентно-дозировочное устройство; 4 – смеситель; 5 – камера хлопьеобразования; 6 – трубчатый отстойник; 7 – отстоенная вода; 8- отвод воды перед отстойником в сток; 9 – в сток

**Таблица 2.1 – Данные лабораторных исследований тонкослойного осветления скоагулированных суспензий
(при диаметре труб 26 мм)**

Исходная вода	Показатели качества воды	Скорость 45сек н-ка в ячей- ках в м/ч	Качество отстоянной воды		Продолжи тельность цикла отстаива- ния в ч.	Продолжи тельность пребыва- ния в трубчатом элементе, мин	Производи тельность трубчатого элемента в л/ч	Доза коагулянта в мг/л (в пересчете на Al ₂ O ₃)
			Мут- ность в мг/л	Цвет- ность в град				
Природная цветная вода	Температура 15-17° содержание взвешенных веществ 5-10 мг/л цветность 60-7- град; щелочность 1,5-1,6 мг-экв/л; Ph=7,5	5	6	10	48	18	2,3	12,5
		9	7,5	12	22	10	4,1	
		14	9	12	4	6,4	6,4	
Водопровод ная вода, зацвеченная специальны м составом	Температура 16°; содержание взвешенных веществ 4 мг/л цветность 100 град; щелочность 2,5 мг-экв/л; Ph=7,45	5	4,5	10	Более 10	18	2,3	14
		10	6,5	10	8	9	4.6	
Природная вода, замутненная глиной	Температура 13° содержание взвешенных веществ 70-100 мг/л; цветность 25- град; щелочность 2,6 мг-экв/л; Ph=7,5	5	5	8	Более 16	18	2,3	13
		10	6,5	12	10,5	9	4,6	
		14	10	10	5	6,4	6,4	
		19	14,5	15	1,5	4,7	8,7	

Кинетика осветления носит циклический характер, аналогичный работе скорого фильтра. Продолжительность цикла для суспензий каждого типа различна и зависит от качества исходной воды в трубках.

На рис.2.2 приведены некоторые результаты экспериментальных исследований по окислению взвесей в свободном объеме при различных его концентрациях в воде, гидрохлоритом натрия. Из графика видно, что скорость окисления взвесей во времени резко уменьшается. Повышение концентрации взвесей обеспечивает незначительное увеличение скорости окисления взвешенных веществ только в начале процесса окисления. Очевидно, это объясняется тем, что в воде, имеющей низкое содержание R_n и небольшой щелочной резерв, находятся во взаимосвязи с органическими веществами.

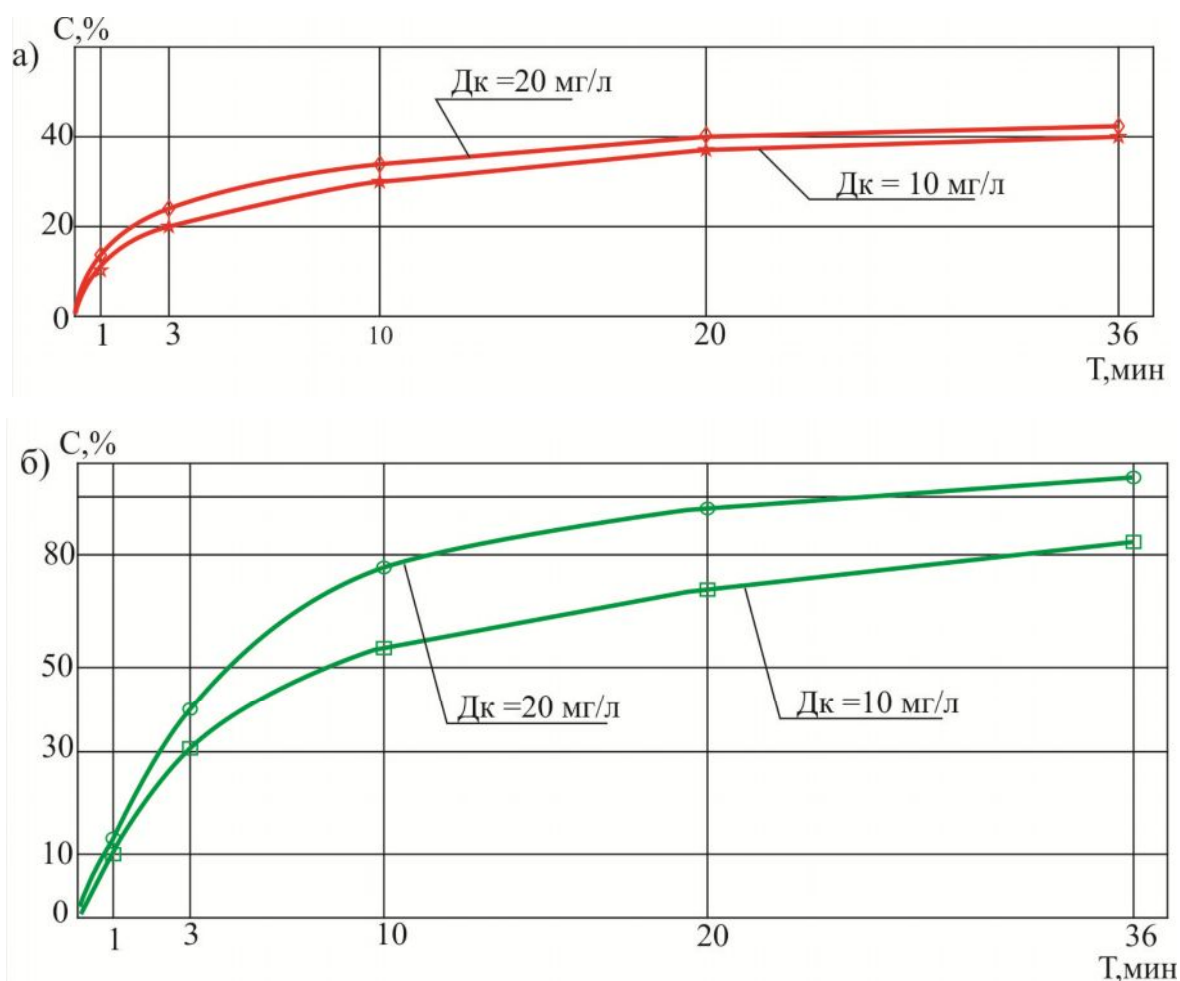


Рис.2.2 Влияние дозы реагента (окислителя и каолина) на процесс коагуляции взвеси воды во времени, в свободном объеме обрабатываемой воды – $M=2000$ мг/л: а) без окислителя; б) с окислением взвеси

На рисунках 2.3 и 2.4 приведены зависимости осветления воды при различных дозах коагулянта. Из приведенных графиков следует, что начальная величина концентрации взвешенных веществ зависит от времени взаимодействия с коагулянтом.

Из представленных данных, следует полагать, что Ноокатский белый каолин вполне выполняет функцию коагулянта анионной структуры, т.е. чем больше его доза, тем больше интенсивность взвесеобразования с рращением образующейся угольной кислоты.

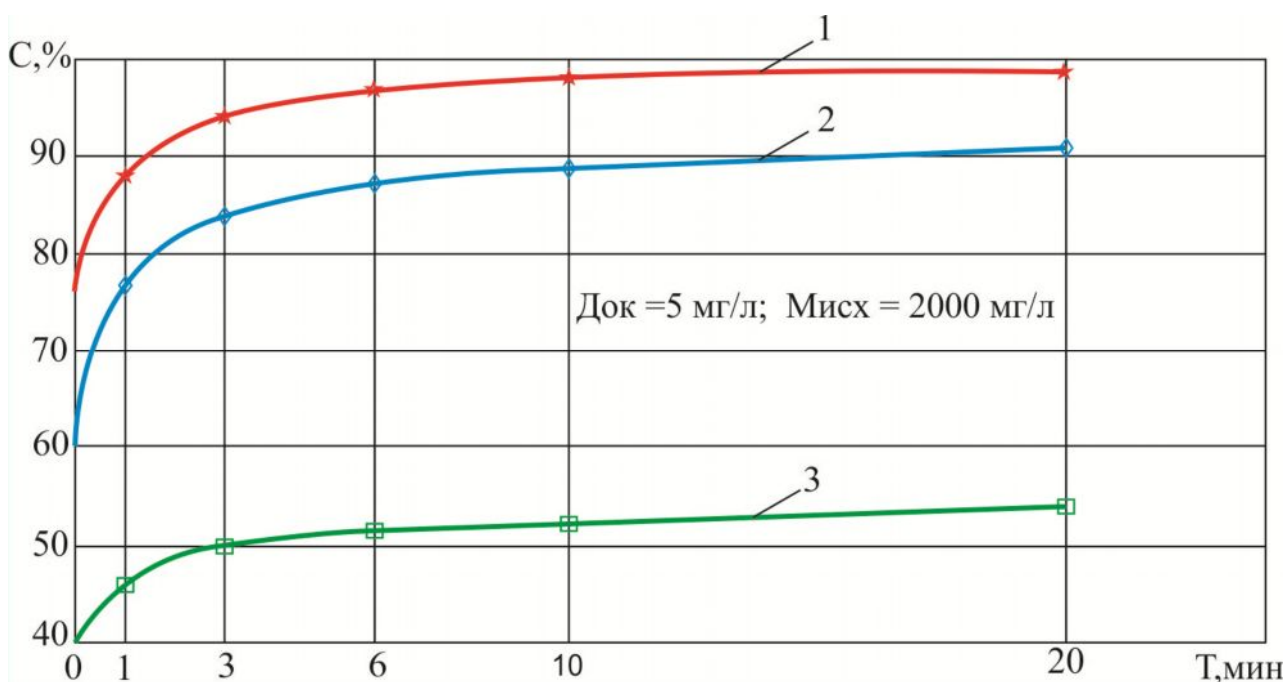


Рис.2.3 Изменение степени осветления воды в свободном объеме, в зависимости от дозы каолина: 1 – $D_k=70$ мг/л; 2 – $D_k=50$ мг/л; 3 – $D_k=30$ мг/л (доза коагулянта по товарному продукту – водная концентрация каолина)

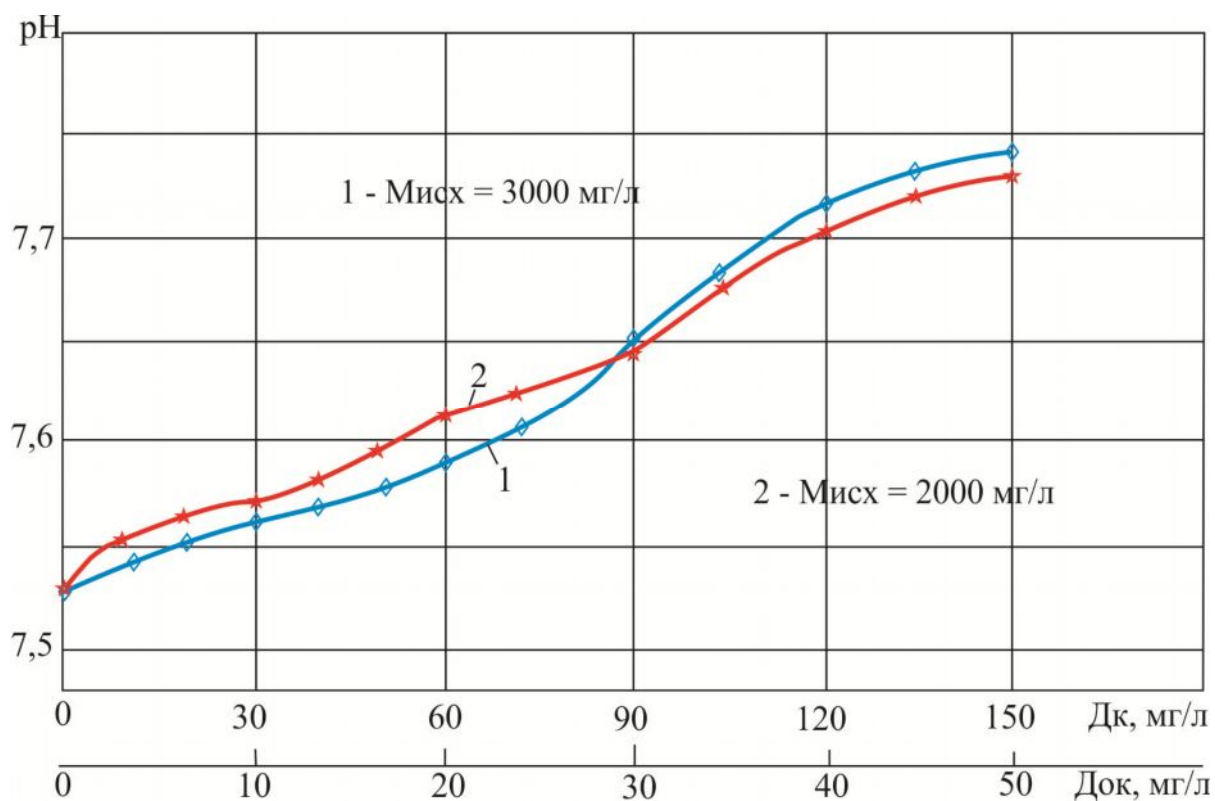


Рис.2.4 Влияние дозы окислителя и каолина на величину Рн воды, т.е. на диссоциации ионов OH^- и разложения гумусовых веществ исследуемой воды и пассивизации образующейся угольной кислоты

2.3 Исследование технологических процессов, происходящих на модели трубчатого отстойника

Для выявления возможности эффективного использования тонкослойных отстойников для осветления поверхностных вод, аналогичных речным водам предгорной зоны Чуйской долины были выполнены экспериментальные исследования в лабораторных условиях кафедры «Инженерные сети и оборудование зданий» Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н.Ельцина.

В состав экспериментальной установки, принципиальная схема которой представлена на рис. 2.1, входили устройства для подачи исходной воды, а также дозатор реагента, дырчатый смеситель, камера хлопьеобразования совмещенная с трубчатым отстойником. Модель отстойника имела внутренний

диаметр 75 мм. Нижняя часть установки выполняла функции камеры хлопьеобразования (длиной 1,5 м), а верхняя представляла собой камеру осаждения, т.е. непосредственно отстойника (длиной 100 см), заполненный стеклянными трубками диаметром 18 мм (такой маленький диаметр был принят с целью увеличения количества ячеек). Отстойник имел 19 ячеек, образованных трубками и межтрубными пространствами с общей площадью живого сечения 30 см^2 , что составляло 67% от всей площади поперечного сечения модели. Стеклянные трубки опирались на специальную решетку с прозорами 1,3 см.

Опыты на указанной модели были проведены при угле наклона к горизонту около 60° (т.н. «наклонный» тип отстойника). Следует отметить, что принятая в конструкции модели отстойника гидравлическая камера хлопьеобразования вихревого типа, вместо конически расширяющейся входной части, была загружена гравием (крупностью 5-12 мм) на высоту 3,0 см. В качестве щелочных реагентов был использована каустическая сода.

Контроль и измерение скорости потока в отстойнике, а также вводимых доз реагентов производили объемным методом. Концентрацию взвесей во всех пробах определяли с помощью фотоэлектроколориметра – ФЭК-Н-57. Одновременно проводили определение и других физико-химических показателей исходной и обработанной воды, как Рн, щелочность, содержание взвешенных веществ, цветность и др.

Во время экспериментальных исследований, показателем оценки эффективности работы трубчатого отстойника был выбран эффект осветления

$$\mathcal{E} = \frac{F_{\text{исх}} - F_{\text{отст}}}{F_{\text{исх}}} \times 100\%, \quad (2.1)$$

где: \mathcal{E} – эффект осветления, %; $F_{\text{исх}}$ – концентрация взвесей в исходной воде, мг/л; $F_{\text{отст}}$ – концентрация взвесей в отстойной воде, мг/л.

Исследования на первом образце были проведены с использованием математического метода планирования эксперимента, что давало возможность минимизировать число обязательных опытов при получении надежной

взаимосвязи между исследуемыми параметрами. На втором образце проводились проверочные (выборочные) опыты.

Современный метод математического планирования эксперимента является результатом обобщенных работ многих исследователей и начальным моментом считается работа Бокса и Вильсона [120], где впервые сформулированы и доведены до практических рекомендаций идеи последовательного движения к оптимуму и использование при этом полиномиальных уровней.

Полагая, что в нашем случае линейная модель окажется адекватной, планирование эксперимента проводилось по методу Бокса-Вильсона, согласно [7]. Для первой стадии экспериментальных исследований предполагалось изменять скорость протекания воды в отстойнике и дозу коагулянта, которые соответственно, обозначены X_I и X_{II} , т.е. использовать эксперимент типа ПФЭ-2.

Следует указать, что в данном случае чрезмерное уменьшение скорости протекания воды в отстойнике или увеличение дозы-каолина несомненно даст высокий эффект улучшения качества воды, что является технико-экономически не целесообразным. Поэтому выбор области определения осуществляли в соответствии с общепринятыми данными: по скорости протекания воды через трубчатый отстойник при реагентом осветлении природных вод [44,45,83], а выбор X_{II} осуществляли исходя из результатов определений осаждения взвесей.

На рис.2.5 представлены кривые осаждения взвесей при добавлении в исходную воду коагулирующего вещества каолина.

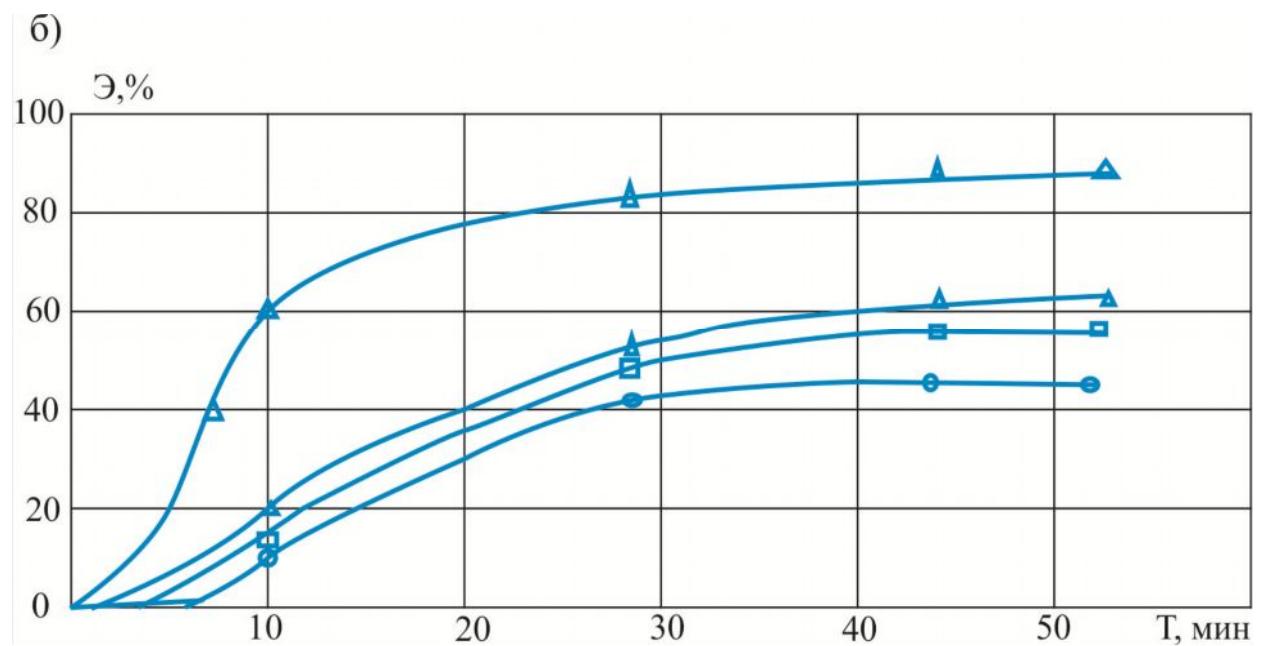
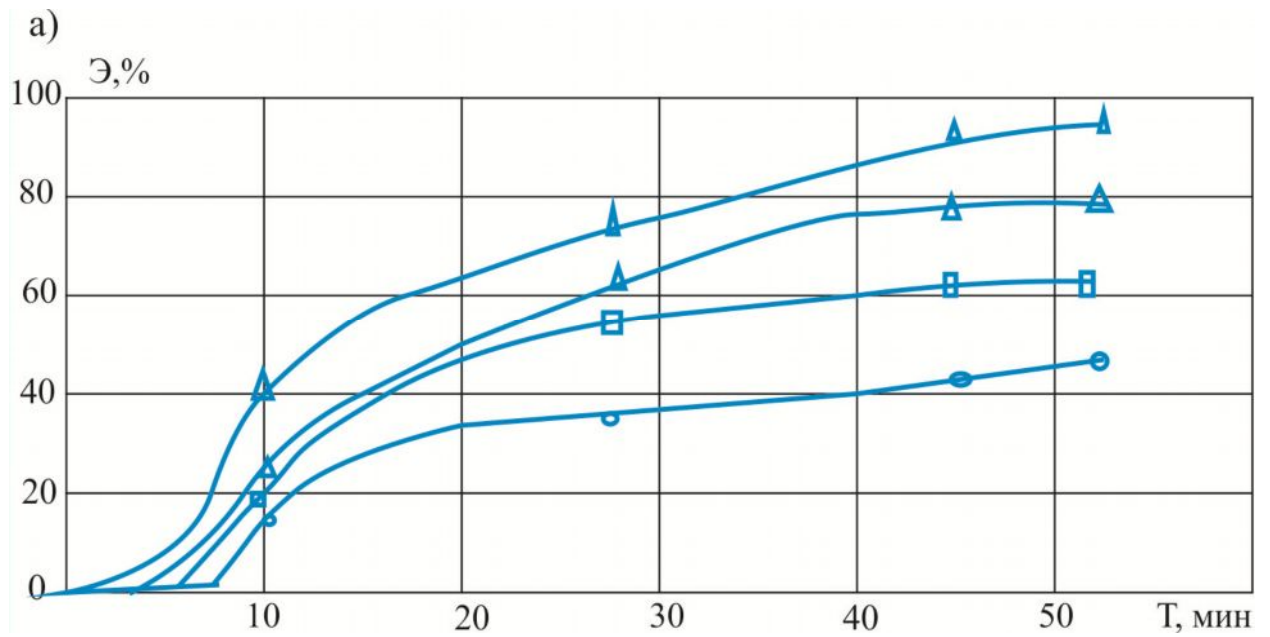


Рис.2.5 Кривые осаждения взвешенных веществ в гомогенной среде при пробном подщелачивании: а) при $M_{исх}=2000$ мг/л и б) при $M_{исх}=1000$ мг/л:
 \triangle – $D_k=200$ мг/л; \blacktriangle – $D_k=150$ мг/л; \square – $D_k=120$ мг/л; \bullet – $D_k=80$ мг/л.

Уровни и интервалы варьирования двух факторов приведены в табл.2.2

Таблица 2.2 – Уровни и интервалы варьирования

Факторы	У р о в н и			Интервалы варьирования	Единицы измерения
	- I	0	+ I		
X_I	6	10	14	4	м/ч
X_{II}	80	100	120	20	мг/л, считая на продукт каолина

Матрица планирования и условия проведения опытов в кодированных и натуральных значениях факторов представлены в табл.2.3.

Таблица 2.3 – Матрица планирования

Номера опыта в матрице	Скорость протекания воды в отстойнике		Доза каолина	
	код	м /ч	код	мг/л
1	+1	14	+1	120
2	-1	6	+1	120
3	+1	14	-1	80
4	-1	6	-1	80

Переход от натуральных значений факторов к кодированным значениям осуществлялся с помощью следующего преобразования:

$$xi = \frac{Ci - Ci}{J}, \quad (2.2)$$

где xi - кодированное значение фактора (безразмерная величина); $Ci - Ci$ - натуральное значение фактора (соответственно его текущее значение и значение на нулевом уровне); J – натуральное значение интервала варьирования фактора Ci ; i – номер фактора.

Матрица планирования, результаты двух параллельных опытов (округленные до целых чисел) и значение дисперсии среднего арифметического приводятся в табл.2.4

Таблица 2.4 – Матрица планирования

Номера строк	Порядок проведения двух повторных опытов	X _I	X _{II}	U' u	U'' u	$\bar{U}u$	S ² _j
1	4:7	+I	+I	53	49	51	8
2	3:8	-I	+I	62	66	64	8
3	1:6	+I	-I	26	24	25	2
4	2:5	-I	-I	46	44	45	2

Примечание: Здесь U' и –U»и результаты двух опытов по эффекту осветления в %; $-\bar{U}u$ их среднее значение. Каждое значение U' и –U»и и является средним из 10-16 определений.

Кроме того были проведены еще три опыта в центре эксперимента для оценки значимости суммы коэффициентов регрессии при квадратичных членах из этих опытов получены следующие значения параметра оптимизации: $U'_{0}=35$ $U»_{0}=31$, $U»_{0}=37$, а среднее значение $\bar{U}_{0}=34,3$.

Дисперсия среднего арифметического в каждой строке матрицы была определена согласно выражения:

$$s_{2j} = \sum_j^n \frac{(Y_{jq} - Y_j)^2}{n-1}, \quad (2.3)$$

где n – количество параллельных опытов; Y_{jq} – значение эффекта осветления на параллельных опытах, a - Y_j среднее значение, j -строка матрицы.

Однородность дисперсий проверялась с помощью критерия Кохрена, согласно [7]. Расчетное значение $G_{расч}=0,356$, при табличном значении для четырех разных опытов и числа степеней свободы $n-1 = 1$, равной 0,679 (корень значимости 0,05). Экспериментальная величина $G_{расч}$ - критерия не превышает табличного значения, что подтверждает однородность дисперсии. Дисперсия воспроизводимости равна; $S^2\{\bar{U}\}=5,0$.

Значения коэффициентов регрессии были найдены, согласно [7]. В результате были получены; $b_0=46,3$; $b_1=-8,25$; $b_2=11,25$; $b_{12}=,75$.

Уравнение регрессии имело следующий вид:

$$\bar{U}u = 46,3 - 8,25 X_I + 11,25 X_{II} + 1,75 X_I X_{II}; \quad (2.4)$$

Для проверки значимости коэффициентов регрессии использовали

$$S\{\bar{U}\}=1,404, \text{ т.е. } S^2\{\bar{U}\}=1,187$$

Величина доверительного интервала для коэффициентов регрессии равнялась: $\Delta b_i = \pm 3,05$.

Отсюда следует, что коэффициент b_{12} незначим и уравнение регрессии (2.4) принимает вид:

$$\hat{U}_i = 46,3 - 8,25 X_I + 11,25 X_{II} \quad (2.5)$$

Проверку адекватности модели по критериям Фишера дает положительный результат, т.е. $F_{расч} = 0,25$ при табличном значении $F_{табл} = 7,71$.

Проверка по значимости суммы коэффициентов регрессии при квадратичных членах $\Sigma \beta_{ii}$ отвергает адекватность уравнений регрессии (2.5), т.е. оценкой суммы коэффициентов регрессии в данном случае служит разность между b_0 и значением зависимой переменной в центре плана $\bar{U}_i b_0 - \bar{U}_0 = 46,3 - 34,3 = 12,0$ [73]. Эта величина значительно превосходит ошибку опыта $S\{\bar{U}\}=2,22$, поэтому гипотеза о незначимости коэффициентов при квадратичных членах не была принята. Для получения адекватной интерполяционной зависимости для описания процесса осветления поверхностных вод с использованием извести в трубчатом отстойнике, выполненные расчеты показывают наличие нелинейной зависимости.

Предполагая, что с изменением центра эксперимента и с су54есенне интервалов варьирования нам не удастся получить ясную картину изменения кривизны поверхности в искомой области X_I и X_{II} было принято решение: продолжить намеченные исследования с достраиванием линейного плана 2^2 до плана второго порядка.

В соответствии с общей идеей шагового эксперимента такое планирование может быть получено путем добавления некоторого количества специальным образом расположенных точек к «ядру», образованному

планированием для линейного приближения и нулевых точек (композиционные или последовательно строящиеся планы).

Как известно, в настоящее время имеются много методов планирования второго порядка (ортогональные ротатабельные, D – оптимальные и др.) [62,101].

При этом ротатабельные, ортогональные удобно применять при композиционном планировании, когда план второго порядка строят после эксперимента, выполненного с помощью линейного полнофакторного эксперимента (ПФЭ) [62,101].

Результаты исследований в ортогональном планировании второго порядка показали [101], что коэффициенты регрессии определяются с неодинаковыми дисперсиями. При повороте координатных осей факторного пространства величины этих дисперсий меняются по весьма сложному закону и не могут быть решены однозначно. Учитывая вышеуказанные недостатки ортогонального планирования второго порядка, в 1957 году Бокс и Хантер [121] предложили считать оптимальным планированием второго порядка ротатабельные, позволяющие получать симметричные информационные контуры.

Кроме того, другое исследование [122] показало, что ротатабельные планы являются оптимальными и в более широком смысле: к ним приходится обращаться и тогда, когда надо минимизировать систематические ошибки связанные с неадекватностью представления результатов исследования полиномами второго порядка.

Величина «звездного» плеча – i при ротатабельном планировании второго порядка определяются из условий ротатабельности и задается соотношением [101]. Общее количество опытов при $K=2$ составляет $N = 13$.

Уровни факторов и интервалы их варьирования, при $K = 2$ и величине плеч «звездных» точек $U\alpha = 1,414$ приведены в табл 2.5.

Таблица 2.5 – Уровни факторов и интервалы их варьирования

Факторы	У р о в н и					Интервалы варьирования
	-1,414	-1	0	+1	+1,414	
X _I -скорость протекания воды в отстойнике, м/ч	4,35	6	10	14	15,65	4
X _{II} -доза каолина, мг/л,	67,2	80	100	120	132	20

Рабочая матрица и результаты реализации, т.е. полученные экспериментальные данные по эффекту осветления воды, после трубчатого отстойника позволили определить коэффициент регрессии следующего уравнения:

$$\hat{U}u = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 \quad (2.6)$$

После определения значений коэффициентов регрессии, получили: $b_0=35,6$; $b_1=-10,4$; $b_2=12,1$; $b_{12}=1,61$; $b_{11}=8,3$; $b_{22}=1,1$. Тогда уравнение регрессии (2.6) принимает вид:

$$\hat{U}u = 35,6 - 10,4X_1 + 12,1X_2 + 1,61X_1X_2 + 8,3X_1^2 + 1,1X_2^2 \quad (2.7)$$

Адекватность уравнения (2.7), величину ошибки среднего по параллельным наблюдениям определялась с помощью выражений [62,101].

В результате вычислений находим значения $S^2_{ад}=20,3$; $S\{\bar{U}\}=10,7$.

Тогда критерий Фишера $F_{расч}=1,9$, а $F_{табл}$ для 95% доверительной вероятности коэффициентов уравнений (2.7) согласно данным [21,101], были получены:

$$S^2_{\{b_0\}}=2,14; S^2_{\{b_{ij}\}}=1,330; S^2_{\{b_{ii}\}}=1,54; S^2_{\{b_{ij}\}}=2,67;$$

$$\Delta b_0 = \pm 2,92; \Delta b_i = \pm 2,30; \Delta b_{ii} = \pm 2,48; \Delta b_{ij} = \pm 3,26.$$

Сравнение абсолютных величин коэффициентов регрессии и их соответствующих погрешностей в их оценке показывают, что с доверительной вероятностью 0,95 в уравнении (2.7) можно упростить

$$\hat{U}u = 35,6 - 10,4X_1 + 12,1X_{II} + 8,3X_1^2 \quad (2.8)$$

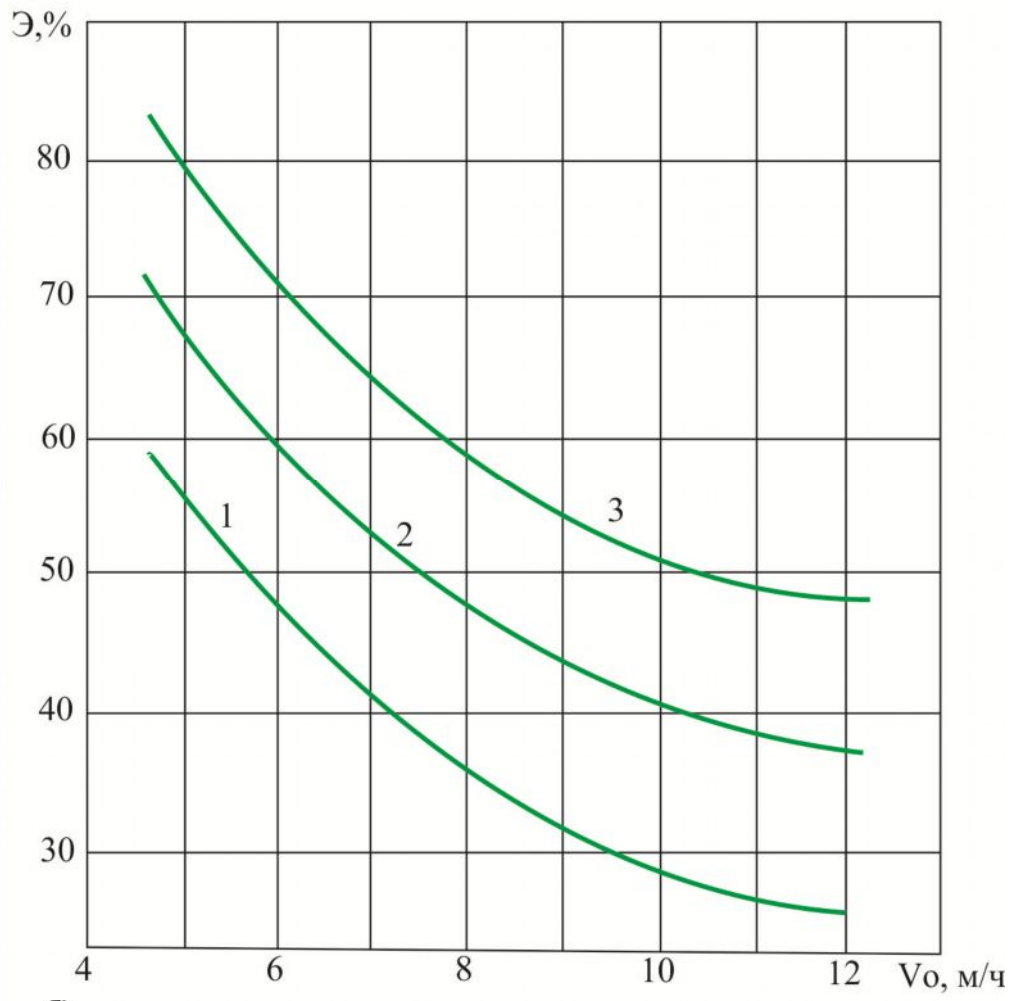
Переходом из кодовых значений факторов к именованным величинам, согласно (2.1), из уравнения (2.8) имеем:

$$\mathcal{E} = 78,7 + 0,605D_k - 13V_0 + 0,52V_0^2, \quad (2.9)$$

где: \mathcal{E} – эффект осветления, воды в %; D_k – доза извести, мг/л; V_0 – скорость протекания потока в ячейках отстойника, м/ч.

На рис.2.6 приведены зависимости эффекта осветления от скорости протекания воды в ячейках отстойника и дозы каолина. Эти зависимости получены исходя из (2.10) варьированием величин одной из переменных при постоянном значении – второго переменного. Откуда видно, что несмотря на повышенные скорости движения потока в ячейках отстойника – 6÷12 м/ч, при дозах извести 40÷80 мг/л эффект осветления воды достигает в отстойнике 50÷80%. При скорости протекания воды в отстойнике 6÷12м/ч, время пребывания воды в отстойнике составляет 10÷5мин, а число Рейнольдса, находилось в пределах 22÷45.

a)



б)

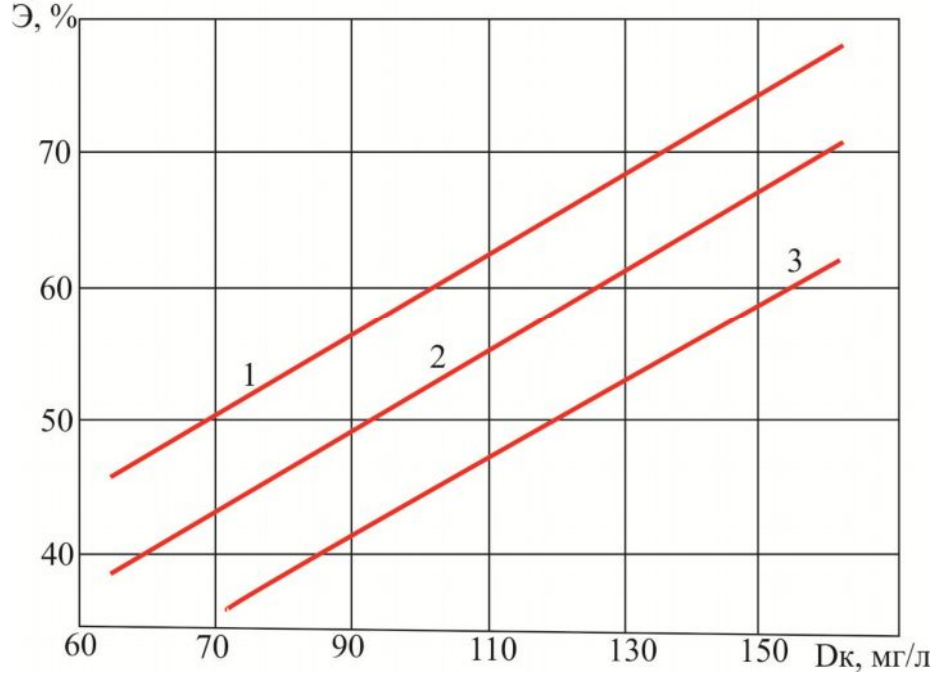


Рис.2.6 Изменение эффекта осветления воды прошедшей трубчатый отстойник в зависимости от скорости потока в ячейках отстойника (а) и дозы щелочи (б): а) при $D_{\text{н}} = \text{const}$; б) при $V_0 = \text{const}$

Следует отметить, что наклонное положение отстойника обеспечивало сползание осадка в камеру хлопьеобразования и позволило совместить процесс хлопьеобразования и осаждения. Согласно визуальным наблюдениям по достижению определенной концентрации осадка в камере хлопьеобразования, выпавшие отложения перестают сползать и не перемещаются потоком воды, подвергаясь лишь уплотнению под действием позже осевших частиц.

В результате исследований, было выявлено, что принятая конструкция камеры хлопьеобразования не обеспечивала постоянный контактный слой, образованный из осадков и процесс хлопьеобразования идет сравнительно вяло, что объясняется несовершенством конструкции гидравлической камеры хлопьеобразования. Небольшая модель установки и сравнительно малое количество ячеистых элементов создавали некоторую неравномерность в распределении потока внутри модели.

Указанные недостатки конструкции исследуемой модели, в конечном счете, отражались на работе отстойника, что требует учитывать в дальнейших исследованиях.

Выводы по второй главе

1. Окисление высококонцентрированных устойчивых форм взвешенных веществ в речных водах, кислородом воздуха протекает малоэффективно. Константа скорости окисления взвесей зависит от изменения первоначальной величины $R_{\text{н}}$ и $E_{\text{н}}$ раствора. Влияние ввода гипохлорита натрия и щелочных реагентов на изменение $E_{\text{н}}$ и $R_{\text{н}}$ раствора носит нелинейный характер и описывается характерными круто изменяющимися кривыми, что указывает на высокий порядок зависимости характера окисления дозы реагентов.

2. Полного окисления исходной воды и деструкции комплексных органических соединений можно достичь обработкой щелочными реагентами, изменяя Рн воды до 7,1 и выше, окисленная вода гидролизуется с последующей коагуляцией и выпадает в виде твердой фазы, что указывает на возможность удаления высококонцентрированных взвесей отстаиванием, т.е. использованием процесса тонкослойного осаждения.

3. Среди аппаратов работающих по принципу тонкослойного осаждения наиболее подходящим для решения поставленной задачи являются трубчатые отстойники установок типа «Струя», которые используются для осветления поверхностных вод.

4. Исследования работы модели трубчатого отстойника на обработанной известью воде показали, что при скорости потока в отстойнике 6÷12 м/ч достигается высокий эффект осаждения взвешенных веществ речных вод до 80%.

5. Кинетика осаждения взвешенных веществ в трубчатом отстойнике характеризуется определенной продолжительностью осветлительного цикла работы отстойника, равной периоду его «защитного» действия и составляет 20÷50 ч. Удаление выпавших отложений из трубчатого отстойника не вызывает трудностей.

6. Анализ результатов рекогносцировочных исследований показывает о целесообразности дальнейших исследований на полупроизводственной установке с целью получения аналитических зависимостей для определения режима и основных параметров работы трубчатого отстойника.

ГЛАВА 3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ВОДЫ НА ПОЛУПРОИЗВОДСТВЕННОЙ УСТАНОВКЕ

3.1 Экспериментальные исследования процесса осветления воды

Результаты предыдущих исследований показали возможность эффективного использования трубчатого отстойника для удаления взвешенных веществ из речных вод. Однако, для достижения полной очистки воды от взвешенных веществ, т.е. снижение концентрации взвешенных веществ до 0,3 мг/л и цветность ниже 20 градусов, что соответствует с практикой работы коммунальных водопроводов при работе водоочистных станций в реагентном

режиме очистке наиболее простым и надежным, и в то же время достаточно высокопроизводительными устройствами для окончательной очистки воды являются скорые фильтры. Поэтому в состав экспериментальной установки был включен скорый, зернистый фильтр.

Отстойник экспериментальной установки был изготовлен с учетом выявленных недостатков исследованной модели во второй главе диссертации.

Экспериментальная установка была выполнена из пластика и состояла из тонкослойного отстойника, совмещенного с вихревой камерой хлопьеобразования в виде конического диффузора, скорого зернистого фильтра с песчаной загрузкой, насосной установки, устройства для обеззараживания воды и реагентного хозяйства [3.1 и 3.2].

Во время испытаний полупроизводственная экспериментальная установка монтировалась непосредственно у устья р.Аламедин, в с.Бешкунгей Аламединского района Кыргызской Республики.

Отстойник диаметром 26 см и длиной 100 см был заполнен 28 винипластовыми трубками диаметром 36 мм и длиной 100 см. Винипластовые трубки с нижними торцами опирались на специальную решетку, приваренную к нижней части отстойника. Камера хлопьеобразования имела длину 90 см, из них 70 см приходилось на коническую часть и 20 см цилиндрическую, диаметром 26 см.

Напорный скорый фильтр диаметром 26 см был загружен промытым кварцевым песком с диаметром зерен 0,8-1,8 мм $\cdot C_{кн}=2$ на высоту 110 см. Распределительно-дренажное устройство фильтра было выполнено в виде пластмассовых щелевых колпачков. Кроме того в состав установки входили реагентно-дозировочные приспособления и она была снабжена повысительным насосом.

Осветлительная установка в реагентном режиме работала по следующей технологической схеме: смешивание с реагентом, хлопьеобразование, отстаивание и фильтрование.

Производительность установки контролировалась с помощью водомера, а также дублировалась объемным методом. Дозирование растворов реагентов производилось во всасывающую линию насоса с помощью поплавкового дозатора. Перемешивание раствора реагентов производилось с помощью пропеллерной мешалки. Промывка установки от задержанных взвесей осуществлялась обратным током воды. При этом промывная вода подавалась насосом 7 и промывала фильтрующую загрузку и после этого смывала отложения из ячеек отстойника, далее отводилась в сток по трубопроводу 14.

Экспериментальные исследования проводились на первом объекте, показатели качества которого приведены во второй главе, опыты проводились согласно матрицы ротатабельного планирования второго порядка [62,101].

Уровни факторов и интервалы их варьирования приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Уровни факторов и интервалы их варьирования

Факторы	Уровни					Интервалы варьирования
	-1,414	-I	0	+I	+1,414	
X _I – скорость протекания воды	2,2	3	5	7	7,8	2 м/ч
X _{II} – доза реагента	33,9	40	55	70	76,1	15 мг/л, считая на твердый продукт каолина

Пределы варьирования факторов выбраны исходя из следующих соображений: скорость протекания воды в отстойнике принята таким образом, чтобы охватить пределы ее изменения от 6 до 14 м/ч при длине отстойника равной двум метрам, но т.к. в нашем случае длина отстойника составляет один метр, поэтому скорость воды в отстойнике принята в два раза меньше. Показателем оценки работы отстойника был принят эффект осветления воды, прошедшей отстойник, см формулу 2.1.

Матрица планирования, порядок проведения опытов, рабочая матрица и результаты наблюдений приведены в табл.3.2.

Таблица 3.2 – Матрица планирования и результаты наблюдений

Номера опытов в	Случайный порядок	Матрица планирования	\bar{U}_i	\hat{U}_i	\bar{U}_i-	$(U_i-$

матрице	реализации опытов	X _I	X _{II}			\bar{U}_i	$\bar{U}_i)^2$
1	5	+I	+I	49	53,33	4,33	18,7
2	7	-I	+I	70	74,18	-4,18	17,5
3	11	+I	-I	34	35,32	-1,32	1,74
4	8	-I	-I	49	47,16	+1,84	3,38
5	2	0	0	68	65,1	+2,90	8,4
6	9	0	0	43	39,9	+3,1	9,6
7	3	-1,414	-1,414	40	39,9	+1,7	2,89
8	4	+1,414	+1,414	74	68,7	+5,3	28,9
9	1	0	0	65	62,6	+2,4	5,76
10	6	0	0	60	62,6	-2,6	6,76
11	10	0	0	64	62,6	+1,4	1,96
12	13	0	0	60	62,6	-2,6	6,76
13	12	0	0	64	62,6	+1,4	1,96
$\sum_1^N (\bar{U}_i - \bar{U}_i) = 113,5$				$\sum_1^n (\bar{U}_i - \bar{U}_i) = 23,2$			

Примечание: U_i – среднее значение опытных данных эффекта освещения; \bar{U}_i - расчетное значение эффекта освещения, согласно уравнению 3.1

Исходя из данных рабочей матрицы табл.3.2 были определены значения коэффициентов регрессии. Для этого были использованы выражения из [62,101] для случая, когда K=2.

В результате вычислений было получено следующее уравнение регрессии:

$$\bar{U}_i = 62,6 - 8,92X_I + 10,51X_{II} - 1,5X_I X_{II} - 5,05X_I^2 - 4,3X_{II}^2 \quad (3.1)$$

Гипотезу об адекватности уравнения (3.1) проверяли с помощью критерия Фишера. В результате было получено:

$$S_{ad}^2 = 30; S_{y\hat{y}}^2 = 5,8; F_{расч} = 5,27$$

Зная число степеней свободы для большей ($f_{ад}=3$) и меньшей ($f_E=4$) дисперсий было найдено табличное значение критерия Фишера для 95%-ной доверительной вероятности: $F_{табл} = 5,69$. Сравнение табличных и расчетных

значений критерия Фишера ($F_{\text{табл}} > F_{\text{расч}}$) показывает, что уравнение (3.1) можно считать адекватным с доверительной вероятностью 0,95.

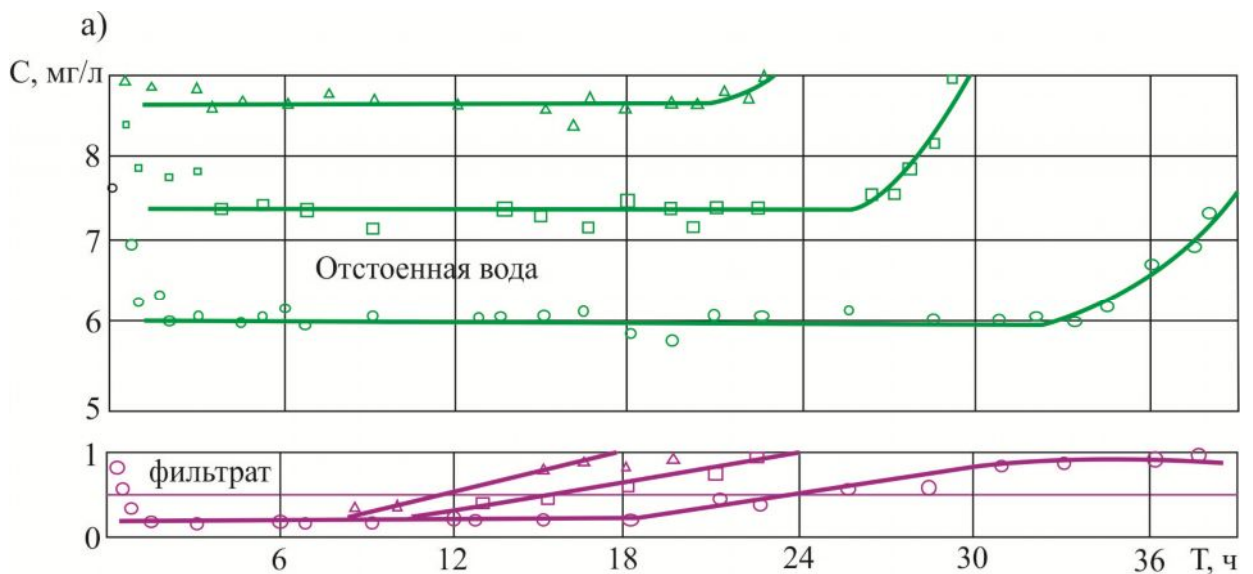
Значимость коэффициентов регрессии и уравнения (3.1) проверяли исходя из [54].

$$\begin{aligned} \Delta v_0 &= \pm 2,16; & \Delta v_{ij} &= \pm 2,412; \\ \Delta v_i &= \pm 1,706; & \Delta v_{ii} &= \pm 1,830; \end{aligned} \quad (3.2)$$

Сравнение абсолютных величин коэффициентов регрессии и соответствующих погрешностей в их оценке показывают, что с доверительной вероятностью 0,95 в уравнении (3.3) можно считать значимыми все коэффициенты, кроме v_{12} . В связи с этим рассматриваемое уравнение (3.2) можно упростить до следующего вида:

$$\widehat{U}_t = 62,6 - 8,92X_I + 10,51X_{II} - 1,5X_I X_{II} - 5,05X_I^2 - 4,3X_{II}^2; \quad (3.3)$$

Кинетика осветления воды в тонкослойном отстойнике приведена на рис.3.1.



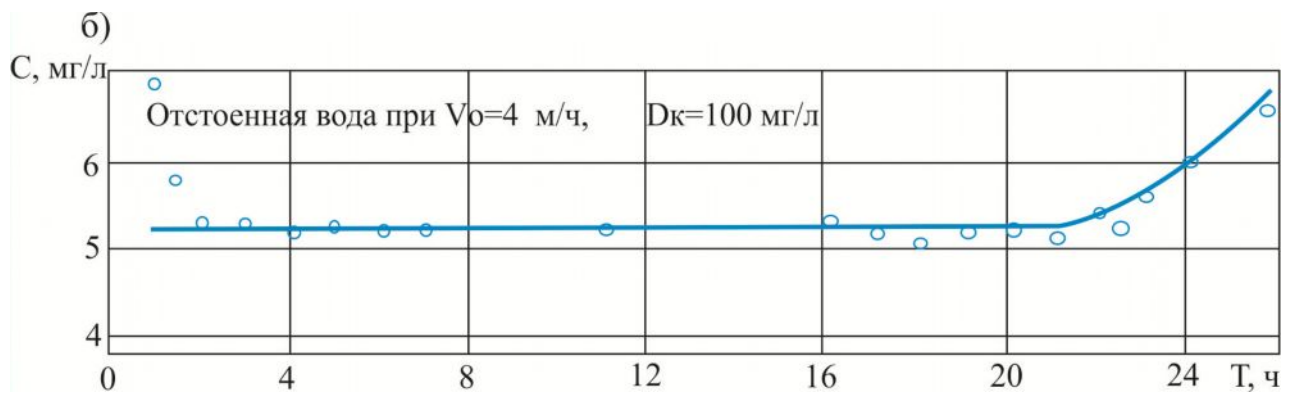


Рис.3.1 Кинетика выделения взвеси в трубчатом отстойнике и скором фильтре: C – концентрация взвеси в отстоенной воде; T – продолжительность работы установки; а) – вода образца 1; б) – вода образца 2.

А) доза коагулянта – 150 мг/л

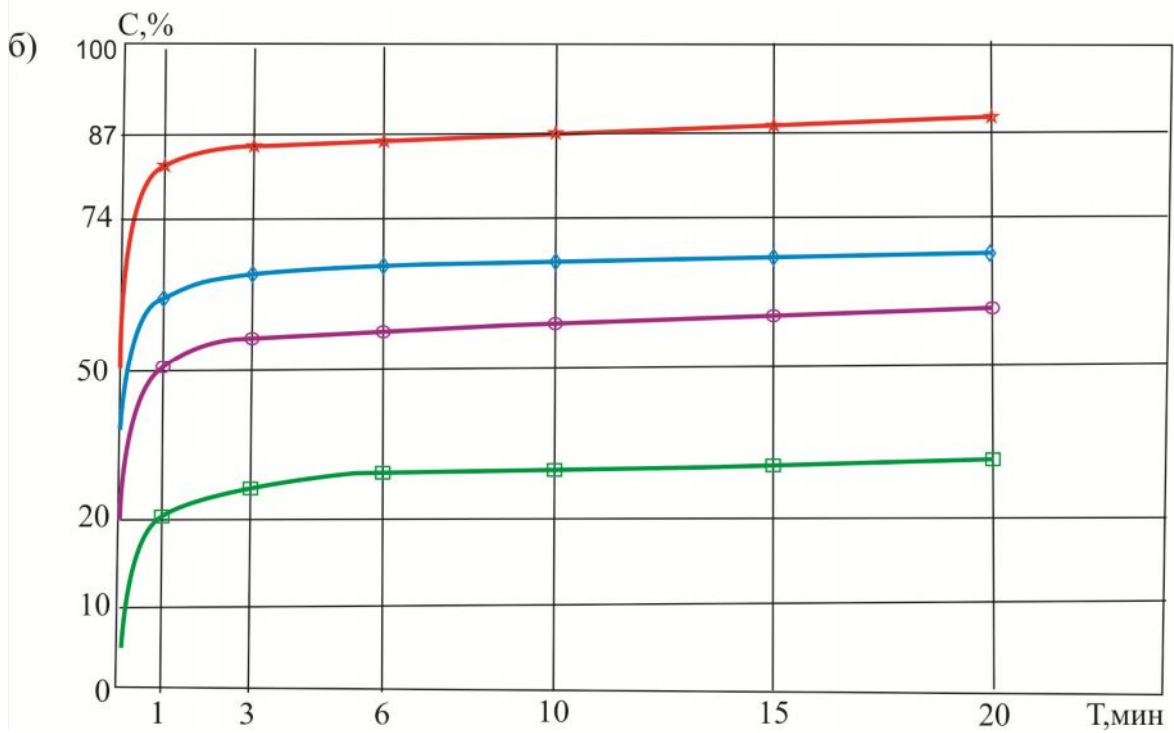
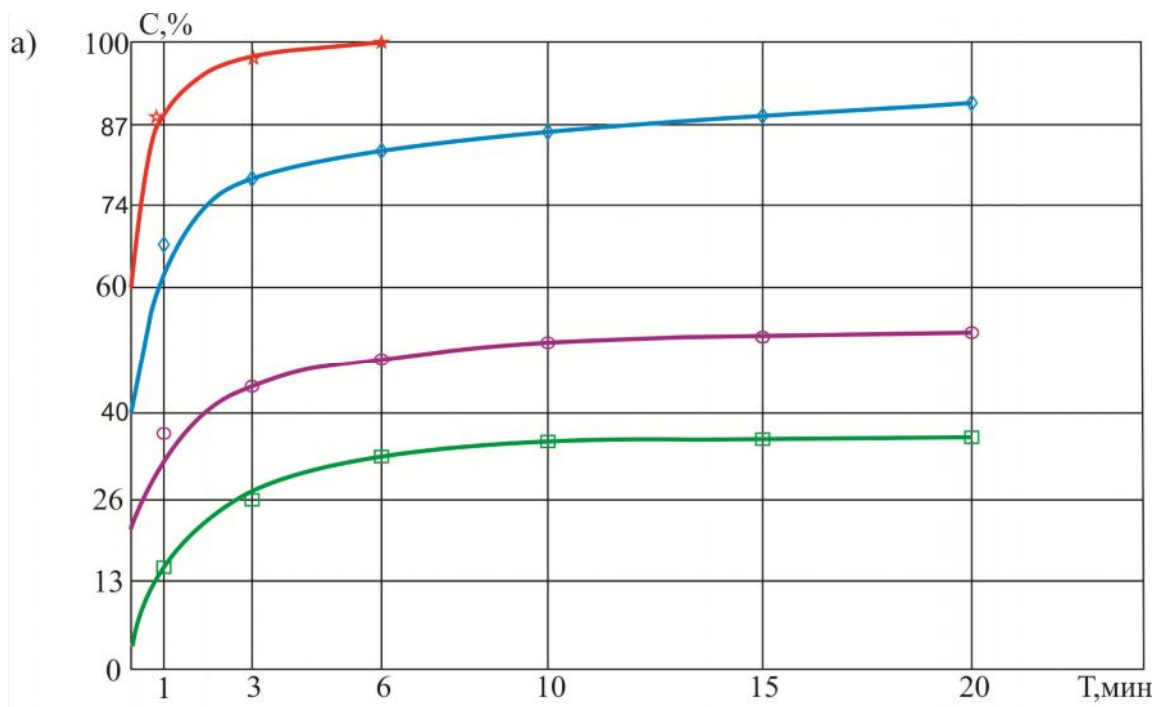


Рис.3.2 Влияние дозы коагулянта на степень осветления воды – C , во времени при различных дозах коагулянта, $M_{исх} = 1500$ мг/л.

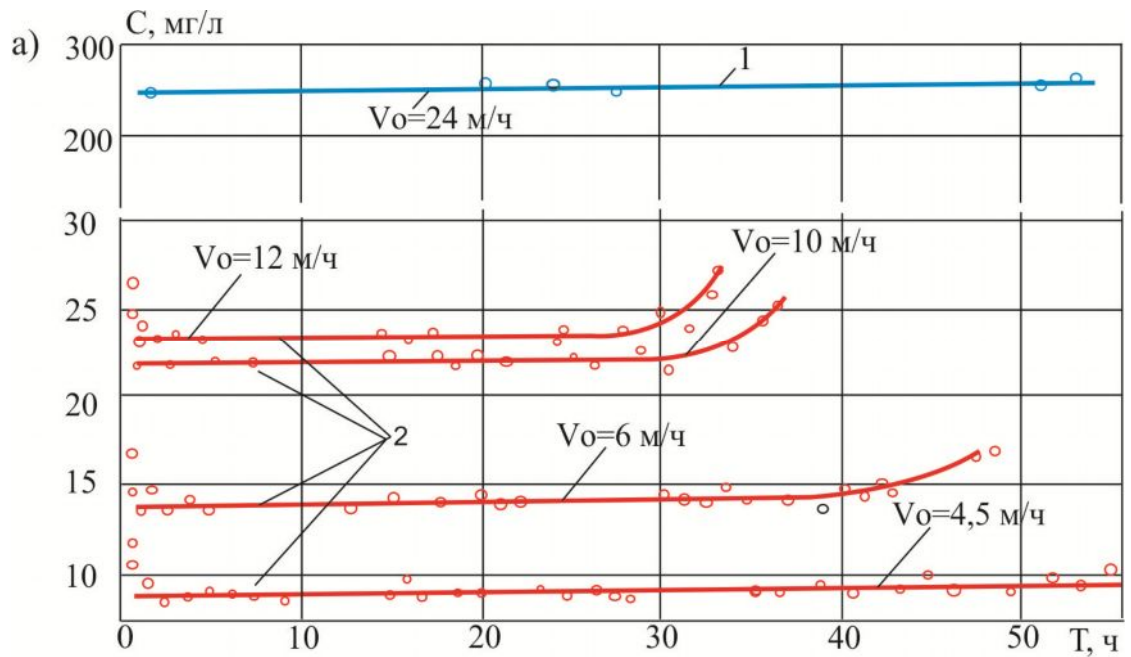


Рис.3.3 Зависимость цикла отстаивания тонкослойного отстойника от скорости движения воды в ячейке отстойника: $M_{исх}=1300$ мг/л; $D_k=200$ мг/л

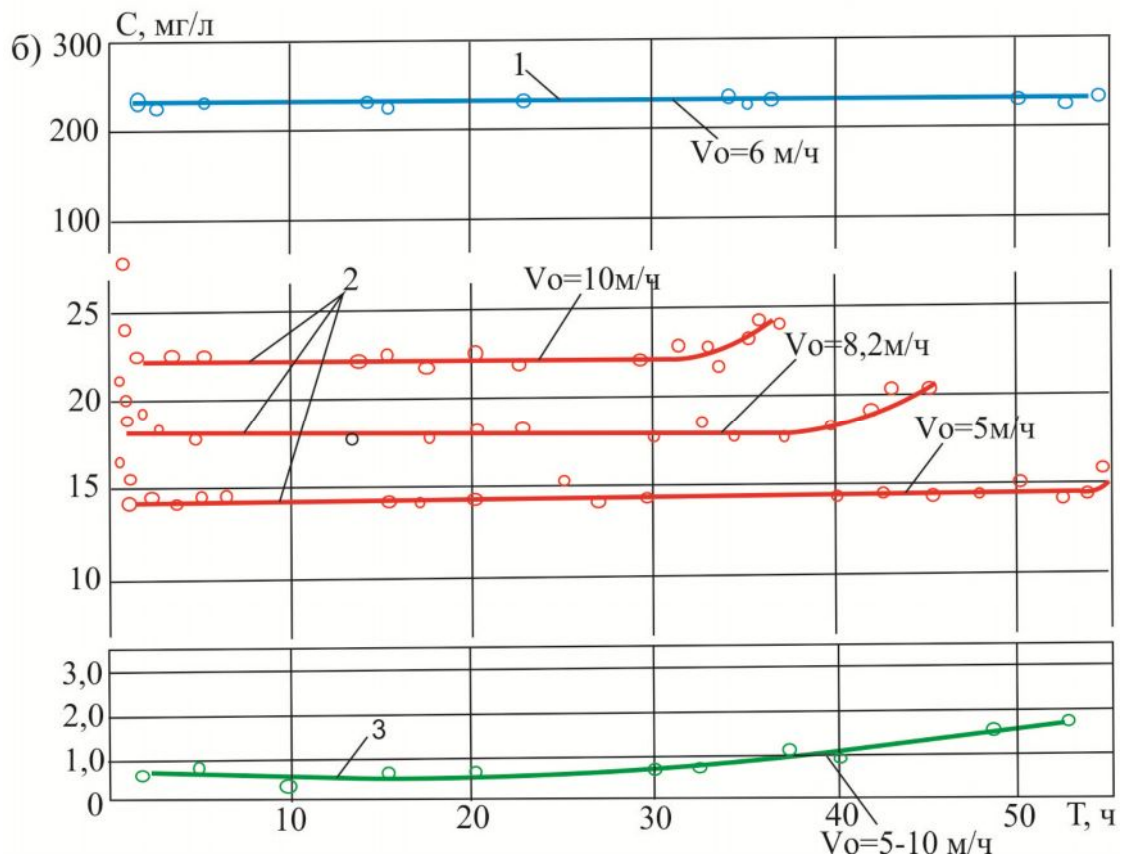


Рис.3.4 Зависимость цикла отстаивания тонкослойного отстойника и фильтроцикла от скорости движения воды в отстойнике и зернистом фильтре: $M_{исх} = 2000$ мг/л; $D_k=200$ мг/л; $D_{ок}=5$ мг/л; 1 – качество воды, после отстойника; 2 – мутность отстоенной воды; 3 – мутность фильтрата, при цветности воды не выше 20 градусов

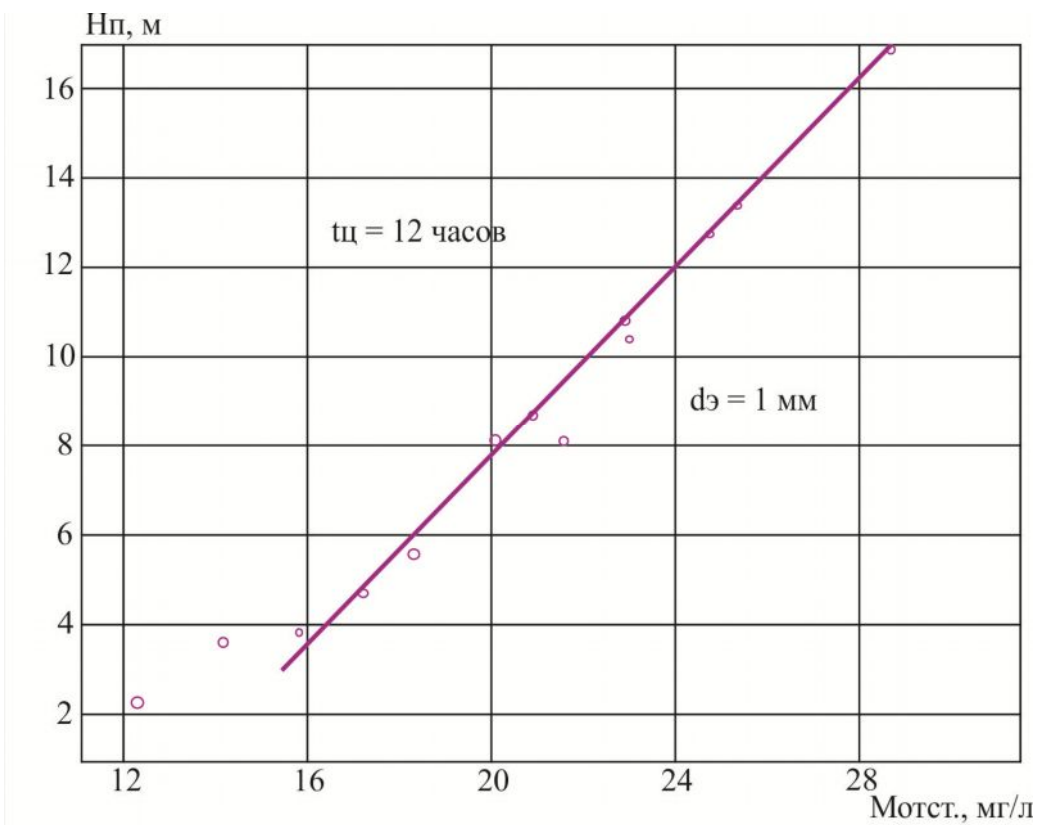


Рис. 3.5 Изменение роста потери напора в толще зернистой фильтрующей загрузки в зависимости от концентрации фильтруемой суспензии в исходной воде, при $t_{ц}=12$ часов

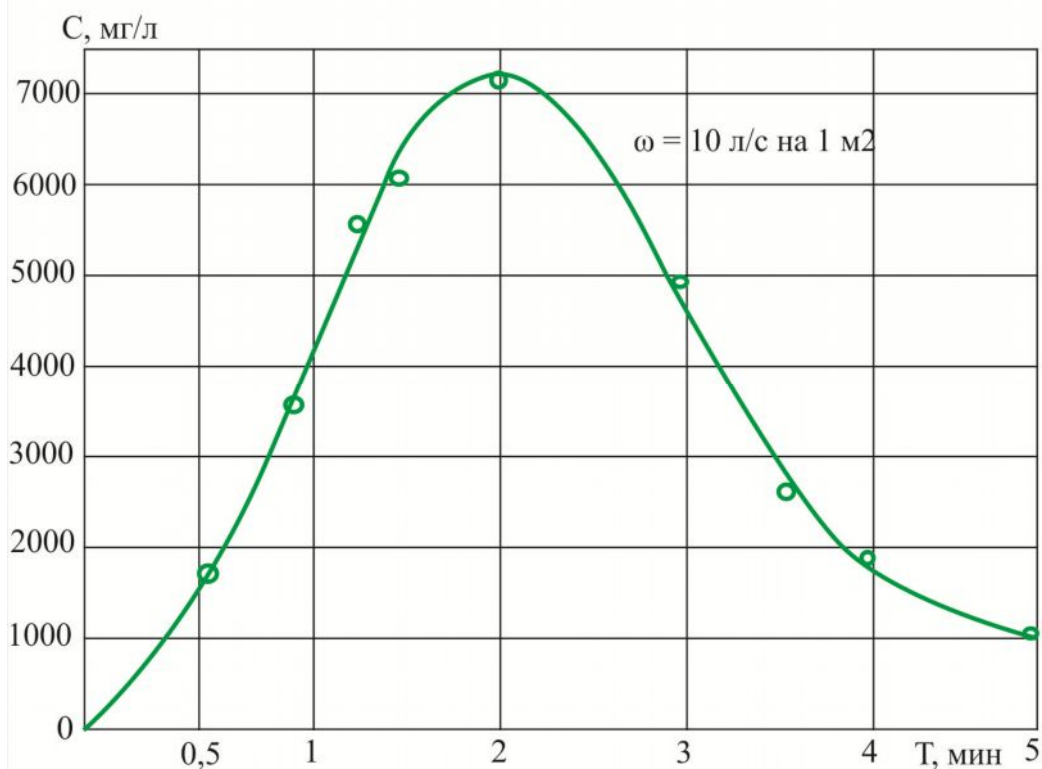


Рис.3.6 Изменение концентрации осадка в промывной воде в зависимости от продолжительности промывки водоочистной установки

Из приведенных данных видно, что эффект удаления взвешенных веществ при продолжительности пребывания воды в камере хлопьеобразования и в отстойнике, соответственно 10-4 и 20-8 минут находилось в пределах от 40 до 70%. При этом концентрация сухого остатка составила $7\div 12$ мг/л (исходная концентрация взвешенных веществ 20 мг/л). Такая концентрация взвешенных веществ с отстоянной воде явно не является достаточной для пуска воды на скорые фильтры [96], что приводит к перегрузке осветлительного фильтра. Об этом свидетельствует то, что на всех опытах, проведенных на экспериментальной установке, продолжительность защитного действия фильтра была меньше возможной продолжительности осветительного цикла работы тонкослойного отстойника (рис.3.7), что не позволяет полностью использовать задерживающую способность отстойника.

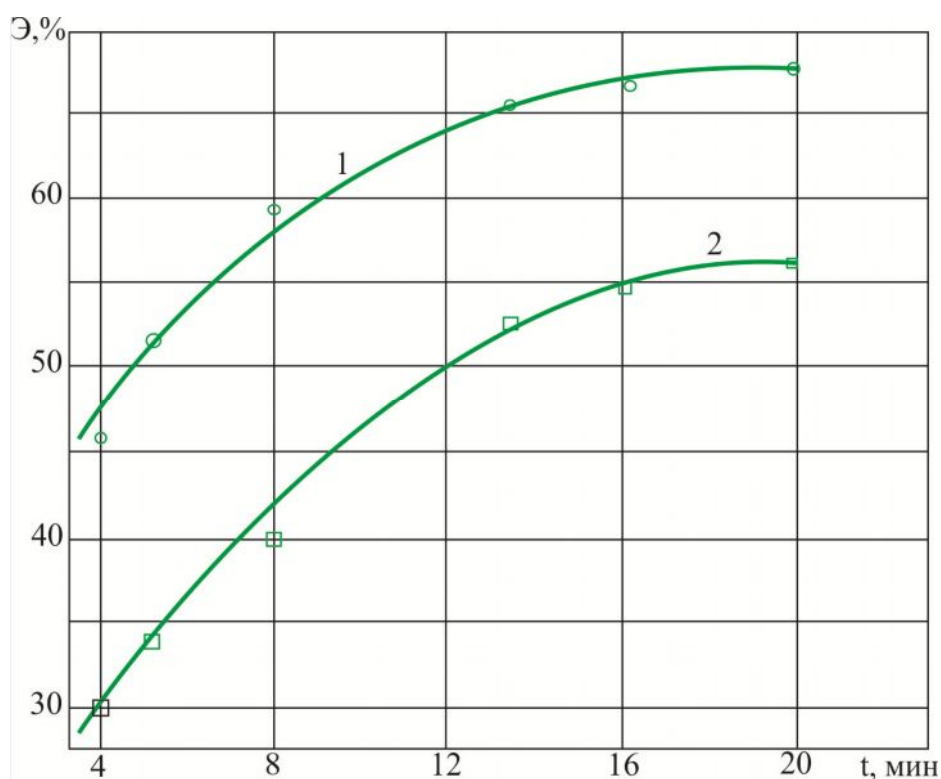


Рис.3.7 Зависимость эффекта осветления воды в трубчатом отстойнике от продолжительности ее пребывания в камере хлопьеобразования (концентрация взвеси 20 мг/л): 1 – при $V_0=4$ мг/ч и $D_k=150$ мг/л; 2 – при $V_0=6$ мг/ч и $D_k=150$ мг/л.

Выше изложенный материал об эффективности осветления на экспериментальной установке, требует дальнейшего исследования

особенностей работы установки для увеличения эффекта осветления воды в тонкослойном отстойнике с целью максимального использования его задерживающей способности.

3.2 Комплексное изучение процесса улучшения качества речных вод

Для определения параметров работы установки заводского изготовления и установления степени очищения в тонкослойном отстойнике были проведены экспериментальные исследования на переоборудованной экспериментальной установке.

С учетом результатов предыдущих результатов был увеличен объем камеры хлопьеобразования при помощи цилиндрической вставки, длиной 90 см, которая была вмонтирована над конической частью камеры хлопьеобразования. Это дало возможность увеличить объем камеры хлопьеобразования, так, чтобы он обеспечивал бы оптимальное время пребывания обрабатываемой воды при скорости протекания воды в отстойнике $6\div 9$ м/ч. Конструкция заполнителей отстойника и фильтра (и характеристика фильтрующей загрузки) оставались такими же, как в п.3.1.

Исследования проводились в натуральных условиях, на речной воде зимнего и весеннего периода р.Аламедин. Качество исходной воды для обоих случаев приведены в табл.3.3 и 3.4

Таблица 3.3 – Физико-химические показатели качества воды весеннего (паводкового) периода

Определяемые качественные показатели, единицы измерения	Значения показателей воды
Взвешенное вещество, мг/л	2100±500
Цветность, градус	1500,0±100
Жесткость, мг-экв/л	4,5±0,5
Сухой остаток, мг/л	484,5±18
Бихроматная окисляемость (ХПК), мгО ₂ /л	170,0±20
Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /л	28±3

Таблица 3.4 – Физико-химические показатели качества воды зимнего периода

Определяемые качественные показатели, единицы измерения	Результаты испытаний
Взвешенное вещество, мг/л	220±100
Цветность, градус	30±10
Жесткость, мг-экв/л	4,3±0,5
Сухой остаток, мг/л	447,5±14
Бихроматная окисляемость (ХПК), мг/дм ³	80±10
Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /л	6±3

Примечание: при расчете концентраций некоторых качественных показателей воды были использованы данные следующих источников [32,89,93,113,142].

Экспериментальная установка представлена на рис.3.8.



Рис.3.8 Общий вид лабораторной водоочистой установки

Экспериментальные исследования проводились с использованием математического планирования, что позволило получить математическую модель. Полученную математическую модель можно в дальнейшем

использовать как интерполяционную для предсказаний внутри использованной области значений переменных факторов изменения эффекта осветления воды, а иногда даже как экстраполяционную. Контролируемым параметром (параметром оптимизации), показывающего степень удаления взвешенных веществ, был выбран как и в предыдущих случаях – эффект осветления.

Для выбора факторов, влияющих на процесс задержания хлопьев взвеси в тонкослойном отстойнике и обязательных пределов их варьирования исходили из следующих соображений:

а) интенсивность и продолжительность перемешивания воды в камере хлопьеобразования, в аналогичных конструкциях установок, считалась зависящей от скорости протекания воды в отстойнике, которая принималась от 6 до 11 м/ч;

б) исходная концентрация изменялась взвеси изменялась в пределах 15-40 м/л, такой предел изменения был обусловлен минимальной и максимальной концентрацией взвеси в исследуемых водах;

с) остальные факторы [37,86], которые могут влиять на процесс хлопьеобразования из взвешенных веществ с последующим осаждением их, ввиду незначительности считалось, при прочих условиях постоянными.

Исходя из вышесказанного для варьирования величин были выбраны три фактора: X_I – скорость протекания воды в ячейках отстойника, X_{II} – доза каолина, X_{III} – концентрация исходных взвесей. Варьирование указанных факторов исходя из результатов предыдущих исследований, производили согласно матрице ротатабельного планирования второго порядка с $K=3$, при величине плеч «звездных» точек равной $\alpha=2^{K/4}$, т.е. $\pm 1,68$ и $N=20$.

Уровни факторов и интервалы их варьирования приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5 – Уровни факторов и интервалы их варьирования

Факторы	Уровни					Интервалы варьирования
	-1,68	-1	0	+1	+1,68	
X_I	4,3	6	8,5	11	12,7	2,5
X_{II}	29,8	40	55	70	80,2	15
X_{III}	14,9	20	27,5	35	40,1	7,5

Рабочая матрица приведена в табл. 3.6. В этой же таблице указаны номера вод, на которых были проведены опыты, результаты наблюдений с округлением до целых чисел.

Таблица 3.6 – Матрица проведения опытов

№№ п/п	Номера вод, на которых были проведены опыты	Рабочая матрица				\bar{U}_i	\hat{U}_i	$(\bar{U}_i - \hat{U}_i)^2$
		м/ч	мг/л	мг/л	\bar{U}_i			
1	2	11	70	35	78	79,7	2,89	
2	1	11	70	20	72	74,4	5,76	
3	2	11	40	35	66	63,7	5,29	
4	2	11	70	20	58	57,9	0,01	
5	1	6	70	35	98	97,6	0,16	
6	1	6	40	20	90	92,0	4,00	
7	2	6	40	35	84	81,0	9,00	
8	1	6	55	20	77	75,3	2,89	
9	2	4?3	55	27,5	86	91,2	27,04	
10	1	12,2	29,8	27,5	60	62,0	4,00	
11	1	8,5	80,2	27,5	58	61,2	10,24	
12	2	8,5	55	27,5	90	89,2	0,64	
13	2	8,5	55	14,9	78	74,2	14,44	
14	1	8,5	55	40,1	84	80,0	16,00	
15	2	8,5	55	27,5	79	79,5	0,25	
16	1	8,5	55	27,5	81	79,5	2,25	
17	1	8,5	55	27,5	81	79,5	2,25	
18	2	8,5	55	27,5	76	79,5	12,25	
19	1	8,5	55	27,5	77	79,5	6,25	
20	2	8,5	55	27,5	77	79,5	6,25	
Итого:			1556,0	1556,4	131,86			

Примечание: \bar{U}_i – среднее значение опытных данных эффекта осветления; \hat{U}_i – расчетное значение эффекта осветления.

Определение коэффициентов уравнения регрессии и все другие вычисления, исходя из полученных результатов, были произведены согласно данным [21,101]. В результате полученное уравнение с помощью регрессии выглядит так:

$$\hat{Y}_u = 79,5 - 8,96X_1 + 8,32X_2 + 28X_3 - 0,125X_1X_2 - 0,135X_1X_3 - 0,12X_2X_3 - 0,25X_1X_2X_3 - 1,4X_1^2 - 1,5X_2^2 + 0,9X_3^2 \quad (3.4)$$

Гипотеза об адекватности уравнения (3.4) проверялась с помощью критерия Фишера, т.е. $F_{\text{расч}} = 4,09$, при табличном значении ($f_{ag} = 5$ и $f_E = 5$) равной 6,59. Сравнение приведенных значений F показывает, что уравнение (3.4) можно считать адекватным для описания процесса осветления речных вод в тонкослойном отстойнике, по эффекту осветления, с доверительной вероятностью – 0,95.

Определение значимости коэффициента регрессии в уравнении (3.4) дает следующее:

$$\begin{aligned} \Delta b_0 &= \pm 1,98; & \Delta b_{ii} &= \pm 1,27; \\ \Delta b_i &= +1,32; & \Delta b_{ij} &= \pm 1,72, \end{aligned}$$

т.е. показывает, что с доверительной вероятностью 0,95 в уравнении (3.4) можно считать значимыми все коэффициенты, кроме $b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$, и b_{33} .

После оценки значимости коэффициентов регрессии и перехода от кодовых значений факторов к натуральным согласно

$$X_1 = \frac{v_0 - 8,5}{2,5}; \quad X_2 = \frac{D_u - 55}{15}; \quad X_3 = \frac{F_{\text{исх}} - 27,5}{7,5}, \quad (3.5)$$

из уравнения (3.5) получим, выражение

$$\mathcal{E} = 32,23 + 0,3v_0 - 0,224v_0^2 + 1,28D_u - 0,0067D_u^2 + 0,37F_{\text{исх}}, \quad (3.6)$$

где: \mathcal{E} – эффект осветления исходной воды, %; v_0 – скорость протекания воды в ячейках отстойника, м/ч; D_u – доза гипохлорид натрия, в пересчете на CaO, мг/л; $F_{\text{исх}}$ – исходная концентрация общих взвесей обрабатываемой воде, мг/л.

На практике возможно наиболее удобным окажется использование уравнения (3.6) преобразованного в следующем виде, исходя из (2.1) и (3.6):

$$F_{\text{исх}} - F_{\text{отст}} = \frac{F_{\text{исх}}}{100} (32,23 + 0,33\% - 0,224v_0 - 1,28D_u - 0,0067D_u^2 + 0,37F_{\text{исх}}); \quad (3.7)$$

$$F_{\text{исх}} = F_{\text{отст}} - \frac{F_{\text{исх}}}{100} (32,23 + 0,33\% - 0,224v_0 - 1,28D_u - 0,0067D_u^2 + 0,37F_{\text{исх}}) \quad (3.8)$$

Полученные выражения (3.1)-(3.8) позволяют определить концентрацию взвесей в воде прошедшей тонкослойный отстойник при аналогичных параметрах работы отстойника, при заданном значении трех переменных. В общем виде изменение эффекта осветления исходной воды можно определить по графику приведенного на рис.3.8.

Во время экспериментальных исследований качество обработанной воды контролировалось и по другим показателям, кроме взвесей. Некоторые результаты определения качества как исходной, так и обработанной воды представлены в табл.3.7. Кроме того, была получена зависимость показывающая снижение окисляемости исходной воды после обработки, в зависимости от степени удаления взвешенных веществ (Θ). Эта зависимость приведена на рис.3.9. Снижение окисляемости в данном случае объясняется тем, что легко окисляемые восстановители окисляются кислородом воздуха, а часть трудно окисляемых восстановителей адсорбируются на хлопьях активного сорбента – гидроокиси исходной воды и на суспензии извести.

На основании проведенных опытов стало очевидным, что стабильное задержание взвесей в отстойнике происходит через $1,0 \div 1,4$ ч после начала нового цикла работы отстойника, следовательно, на эффект работы отстойника влияет контактная масса хлопьев взвеси в камере хлопьеобразования.

Удаление выпавших отложений из тонкослойного отстойника не вызывала определенных трудностей. Промывка установки осуществлялась обратным током воды последовательно, т.е. сначала промывалась фильтрующая загрузка и этой же водой смывались отложения, выпавшие в ячейках отстойника. Во время промывки, с интенсивностью $12 \text{ л/м}^2 \cdot \text{сек}$ основная масса отложений удаляется за три-четыре минуты, что видно из динамики отмывки установки после одного из циклов исследований представленной на рис.3.10. Расход воды на промывку установки, при интенсивности промывки $12 \text{ л/м}^2 \cdot \text{сек}$, во время исследований составлял $2,0-2,5\%$ от ее производительности.

Таблица 3.7 – Результаты определения качества исходной и обработанной воды

Объекты	Исходная взвесь, мг/л	Индекс стабильности	Доза СаО, мг/л	МГ-ЭКВ л Общая жесткость,	Скорость потока в отстойнике, мин.	Время пребывания воды в отстойнике, мин.	Качество исходной воды				Скорость фильтрования, м/ч	Качество фильтрата			
							Взвесь общая, мг/л	МГ-ЭКВ л Щелочность	МГ-ЭКВ л Кислотность,	МГ-ЭКВ л Жесткость общая,		Взвеси, мг/л	МГ-ЭКВ л Щелочность	Растворенный О ₂ , мг/л	Индекс стабильности
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	20,6	-0,56	40	3,4	6	10	5	3,6	0,7	3,8	5,1	0,25	3,6	4,05	0,06
1	20,6	-0,56	70	3,4	11	5,5	5,3	39,	065	3,85	9,4	0,2	4,0	4,1	0,05
1	20,6	-0,56	80	3,4	8,5	7,1	2,1	4,0	0,6	3,9	7,2	0,15	4,0	4,0	0,1
2	35,3	-0,63	55	9,0	8,5	7,1	6,5	3,2	0,76	8,2	7,2	0,28	3,3	3,4	-0,03
2	35,3	-0,63	40	9,0	11	5,5	19,9	3,0	0,95	8,9	9,4	0,27	3,1	3,26	-0,1
2	12,5	-0,40	55	12,1	8,5	7,1	4,2	3,6	0,7	9,8	7,2	0,2	3,6	4,3	0,05

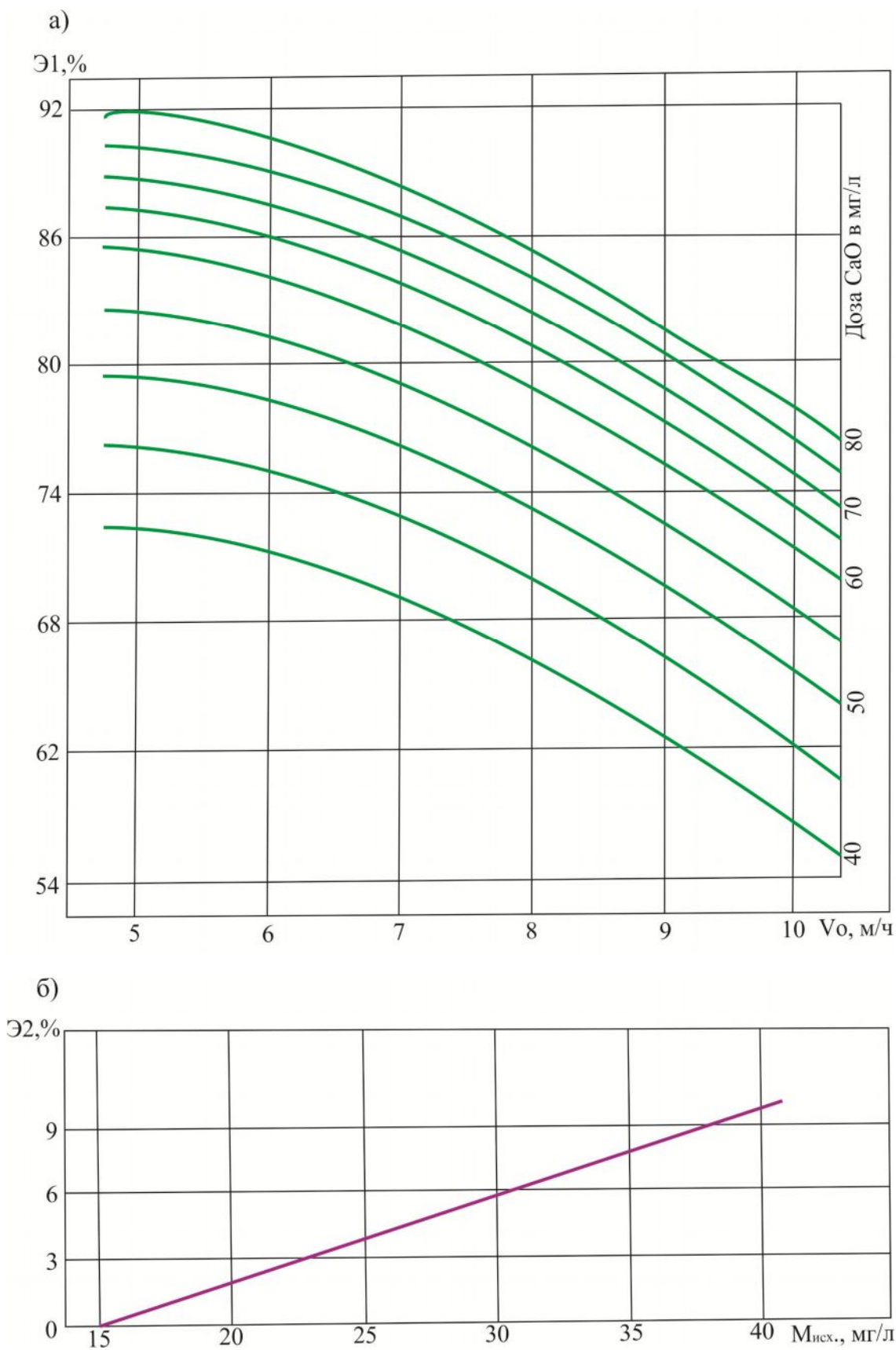


Рис.3.9 Зависимость эффекта осветления при $M_{исх}=15$ мг/л от скорости протекания воды в ячейках отстойника (а) и относительное увеличение эффекта

осветления при $M_{исх} > 15$ мг/л (б). Общий эффект осветления определяется как

$$\mathcal{A} = (\mathcal{A}_1 + \mathcal{A}_2), \%$$

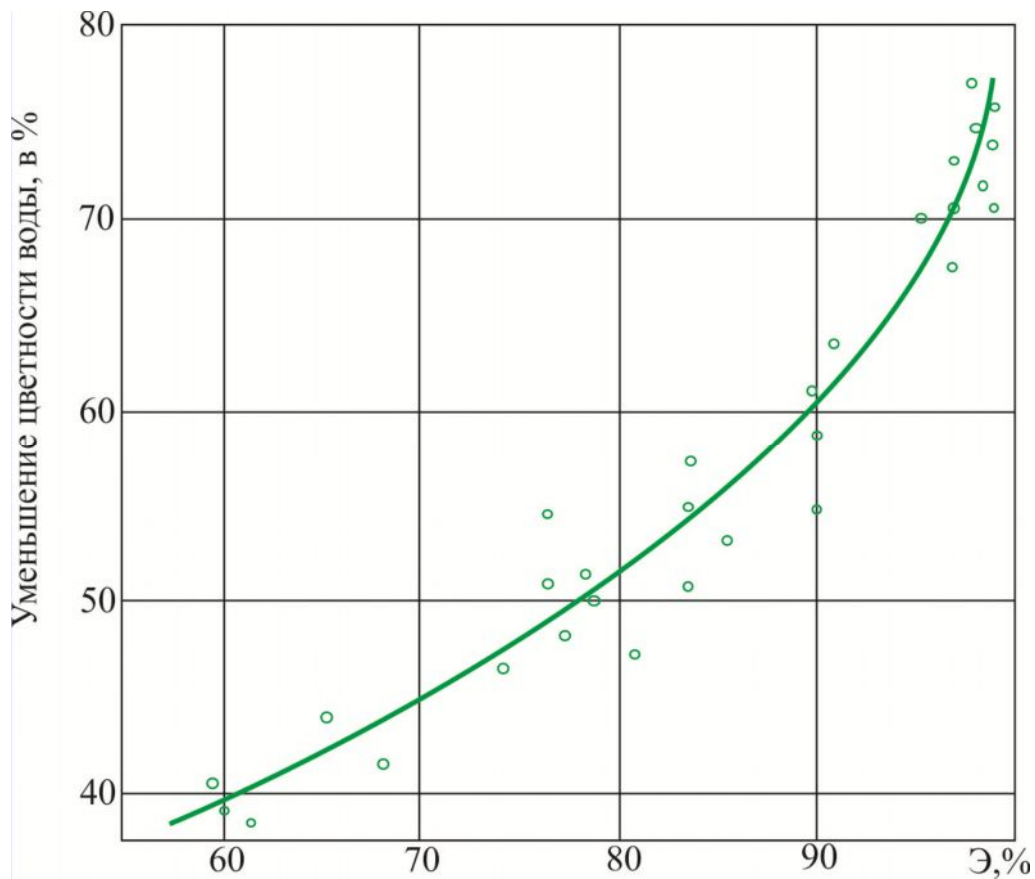


Рис.3.10 Изменение цветности обрабатываемой воды в зависимости от эффекта осветления

Кинетика выделения взвесей из воды в тонкослойном отстойнике носит, как уже отмечалось, циклический характер, и продолжительность осветлительного цикла работы отстойника составляет от 8 до 42 ч. Было установлено, что продолжительность осветлительного цикла работы отстойника зависит как от скорости протекания воды в ячейках отстойника, так и от концентрации задерживаемой взвеси.

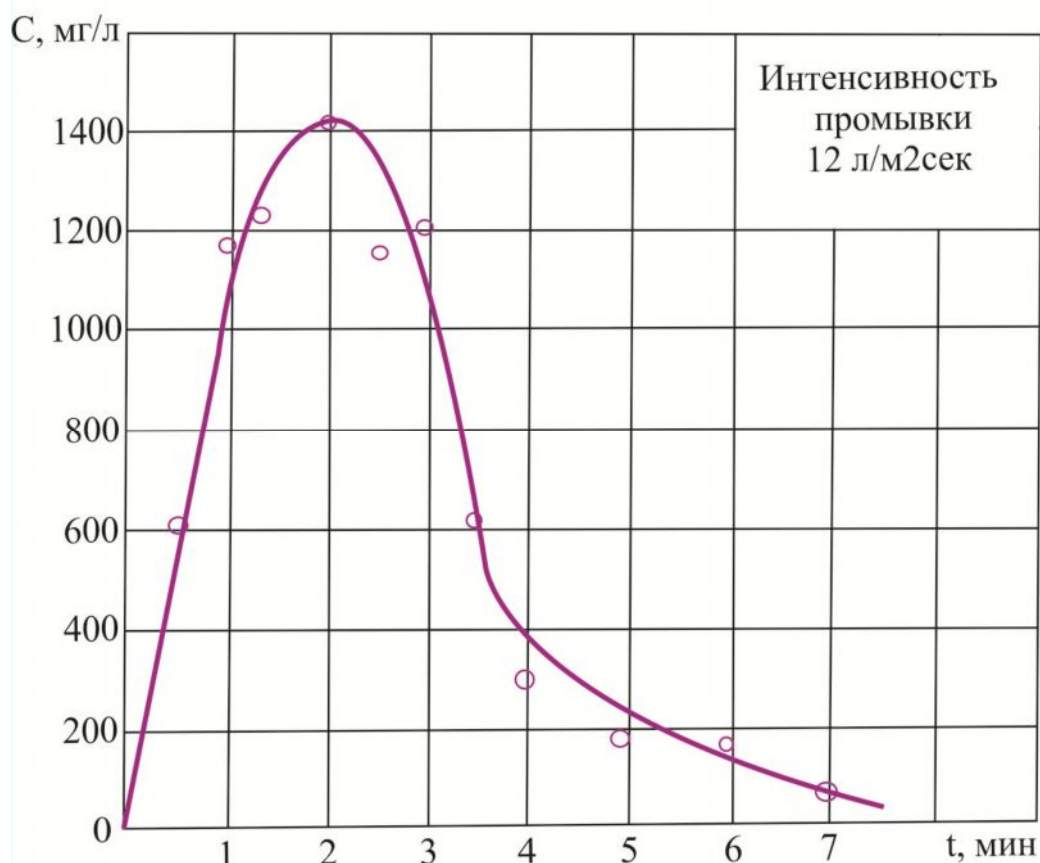


Рис.3.11 Динамика отмывки полупроизводственной осветляющей установки после одного из цикла испытаний: С – концентрация взвесей в промывной воде; t – продолжительность промывки

3.3 Анализ процесса фильтрации малоконцентрированных суспензий

В технологии для водоочистки, для окончательного удаления из растворов различных ингредиентов, находящихся в виде коллоидов и суспензий именуемыми взвешенными веществами, почти во всех случаях, в системах коммунального и промышленного водоснабжения, используется фильтрация через зернистые загрузки [4,38,39].

Эффект фильтрации воды через слой зернистого фильтрующего материала можно рассматривать как суммарный результат двух процессов: 1) задержание взвешенных веществ фильтрующим слоем в результате прилипания частиц взеси к зернам фильтрующего слоя и ранее прилипшим частицам взеси; 2) обратного поступления взвешенных веществ в воду в результате срыва движущейся водой, ранее прилипших частиц с поверхности зерен [59].

Теория работы зернистого фильтрующего слоя, при фильтровании малоцентрированных суспензий, с отложением суспензий в его порах дана Д.М.Минцем[59], Ю.М.Шехтманом[112] и К.А.Йвесом[126,127].

Работа скорого фильтра характеризуется следующими параметрами, как производительность, т.е. скорость фильтрования – V_{ϕ} , продолжительность фильтроцикла, т.е. продолжительность работы фильтра до проскока в фильтрат взвеси в концентрации, большей, чем требуемая – t_3 продолжительность работы фильтра до достижения предельной потери напора – t_4 . В свою очередь продолжительность фильтроцикла определяется параметрами фильтрующей загрузки, к которым относятся: высота загрузки, эквивалентный диаметр – $d_{экв}$ и коэффициент неоднородности – K_n загрузки и свойствами извлекаемой взвеси из раствора. На практике для эффективного использования фильтров большое значение имеет правильный выбор, исходя из условий эксплуатации, параметров их работы. Поэтому оптимизация работы фильтрованных сооружений заключается [89] в подборе условий при которых:

$$t_3 = \delta \cdot t_n = t_{up}, \quad (3.9)$$

где δ – коэффициент запаса, принимаемый равным 1,2,-1,3; t_u – продолжительность работы фильтра до промывки, принимаемая в соответствии с требованиями [96].

Определение параметров работы фильтра производится исходя из данных, которые получаются в результате технологического моделирования процесса фильтрования малоцентрированных суспензий [59]. Основой технологического моделирования является определение момента ухудшения качества воды по толщине фильтрующей загрузки и прирост потери напора. В 80-х годах прошлого столетия был разработан другой, более упрощенный метод технологического моделирования [56,60], который основан на наблюдении прироста потери напора в толще загрузки с помощью большого количества пьезометров (пьезометрический метод).

В настоящее время изучению процесса фильтрации небольших концентраций взвешенных веществ содержащихся в поверхностных источниках водоснабжения, которые относятся к взвесьям глинистого происхождения, а также разработке инженерных методов расчета фильтров посвящено большое число работ отечественных и зарубежных исследователей [12,47,48,56,59,61,112,126,127] и др. В тоже время вопросам изучения процесса фильтрации речной воды содержащей взвешенные вещества посвящено ограниченное число работ, среди которых можно отметить работу Д.М. Минца и В.П. Криштула [59].

Однако, в исследованиях [59] продолжительность защитного действия нефиксировалось, поэтому значения параметров фильтрации не могли быть определены. Но результаты исследований Д.М. Минца и В.П. Криштула показывают, что процесс фильтрации воды содержащей взвешенные вещества подобно процессу фильтрации малоконцентрированных суспензий, содержащихся в поверхностных источниках водоснабжения. Это указывает на возможность использования теории моделирования процесса фильтрации малоконцентрированных суспензий [59] для изучения процесса фильтрации воды содержащей взвешенные вещества. Поэтому задачей дальнейших исследований являлось определение оптимальных параметров работы скорого фильтра для фильтрации воды, содержащей взвеси. В дальнейшем выявленные параметры работы скорого фильтра, дадут возможность создания оптимальных условий работы, как для трубчатого отстойника, так и для всей водоочистной установки.

3.3.1 Методика выполнения и результаты экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования для определения параметров работы фильтров при фильтрации воды, содержащей различные концентрации взвеси, проводились в лабораторных условиях, на модели фильтра. Модель скорого фильтра имела диаметр 78 мм. Для предотвращения пристеночного эффекта [51],

внутренняя поверхность модели фильтра, из оргстекла, была покрыта одним слоем кварцевого песка диаметром около 1 мм. Модель фильтра была загружена однородной загрузкой, из кварцевого песка с $d_{10}=0.903$, $d_{80}=1,36$ $d_{экв}=1,12$ мм, $K_n=1,5$ высоту 100 см. Модель была оборудована пятью пробоотборниками по высоте загрузки (включая фильтрат) и десятью пьезометрами. Во время экспериментальных исследований скорость фильтрования поддерживалось равной 5-6 м/ч. Такая величина скорости фильтрования была принята исходя из расчетной скорости фильтрования воды в фильтре водоочистной установки типа «Струя», в реагентом режиме работы [31,79,100]. Концентрация взвеси в исходной воде изменялось от 1,6 до 25 мг/л.

Изменение концентраций взвеси в фильтруемой воде производилось с дозированием определенного количества щелочного раствора. Исходная вода обрабатывалась известковым раствором для поддержания Рн раствора в пределах 7,0-7,2. Во время экспериментальных исследований объемы смесителя и переливных бачков обеспечивали продолжительность контакта для полного окисления взвеси обрабатываемой воды до поступления ее на фильтр.

Определения фильтровальных характеристик загрузки проводили при $V_{\phi}=\text{const}$, $x=\text{const}$ и $d_{экв}=\text{const}$.

Согласно пьезометрического метода анализа контролировались потери напора, по показаниям всех пьезометров. Обработка результатов наблюдений проводилось по следующей методике [56,60].

По снятым через определенные интервалы времени показаниям пьезометров вычисляли потери напора в слоях загрузки и строили кривые изменения потерь напора по глубине загрузки и во времени. Затем по касательным (к этим кривым), проведенным параллельно линии распределения потери напора в начальный момент фильтрования, т.е. в чистой загрузке, определена толщина слоя загрузки, на которой наблюдается прирост потери напора, т.е. происходит процесс задержания взвешенных веществ и заиления фильтрующей загрузки.

Полученные экспериментальные точки наносились на график (рис.3.12), на котором по оси ординат были отложены значения толщины заиленного слоя

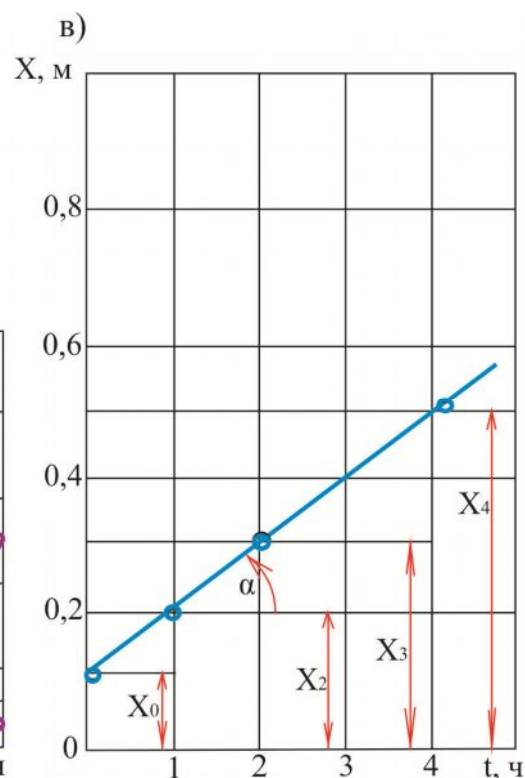
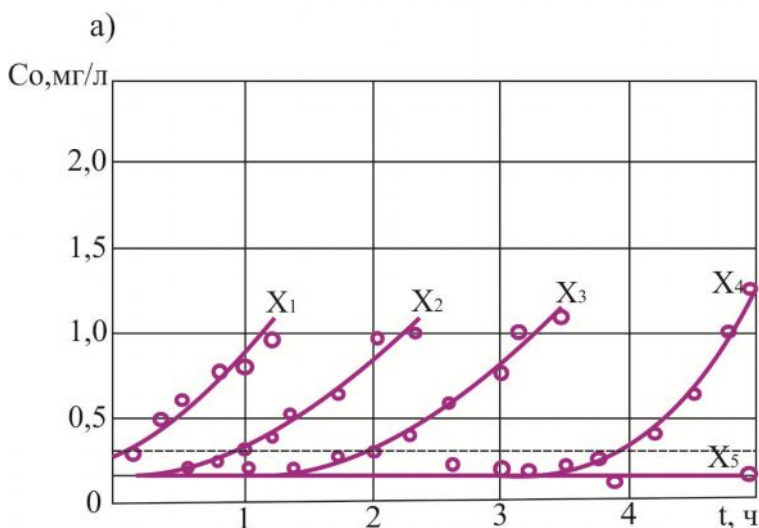
загрузки и по оси абсцисс соответствующие значения продолжительности фильтрования. По опытным точкам проведена прямая линия и определен отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат x_0 и тангенс угла наклона прямой n .

Параметры фильтрования определены по известным формулам [59]:

$$B = \frac{X_0}{X_0}; \quad (3.10);$$

$$X = \frac{a}{B} - \frac{n}{k}; \quad (3.11)$$

Из графиков видно, что абсолютная величина отклонений составляет 1,4 ч и 0,5 ч от эталонного значения t_3-t_3 , т.е. соответственно 8,1% и 6,9%. Такое отклонение может быть признано допустимым учитывая прежде всего определенные трудности метода основанного на изучении качества фильтрата, вызванные обеспечением надежной работы пробоотборников, необходимость постоянного отвода воды через пробоотборники без существенного влияния на скорость фильтрования по высоте загрузки.



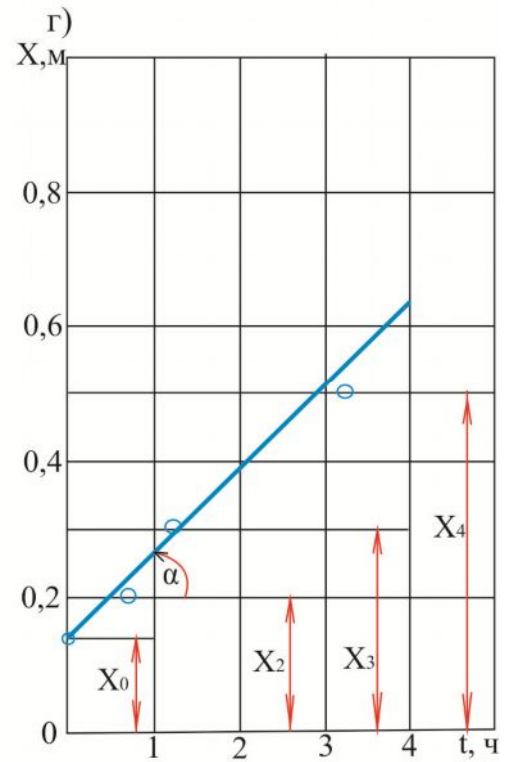
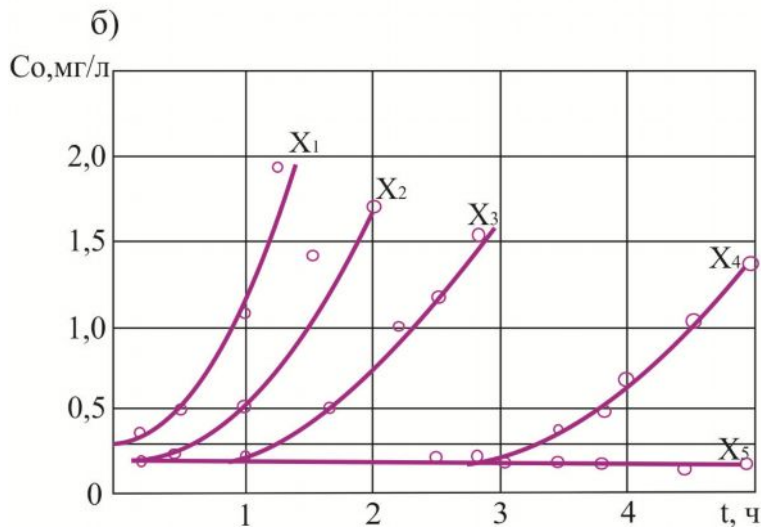
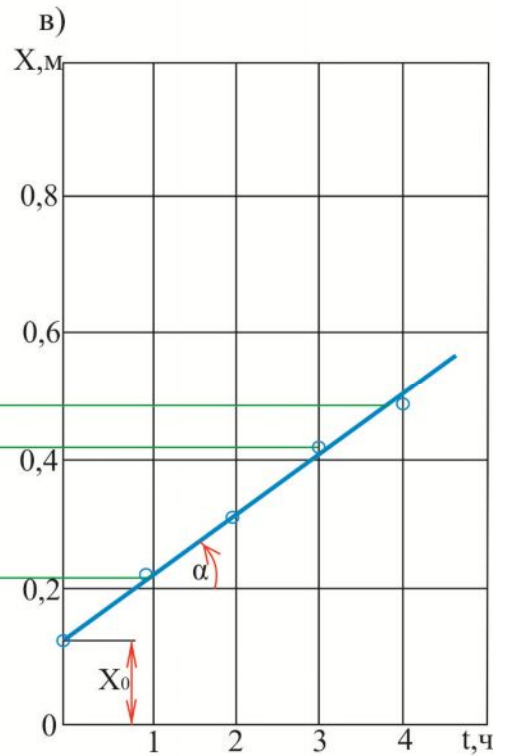
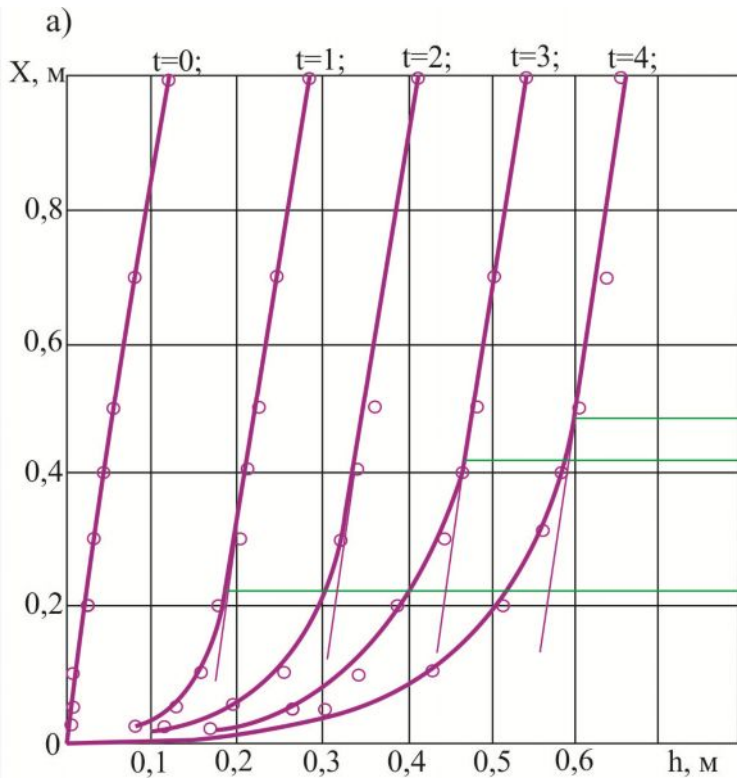


Рис. 3.12 Экспериментальные графики полученные по технологическому анализу основанные на изучении качества проб, по толщине фильтрующей загрузке: а) и б) – выходные кривые; в) и г) – определение параметров фильтрования



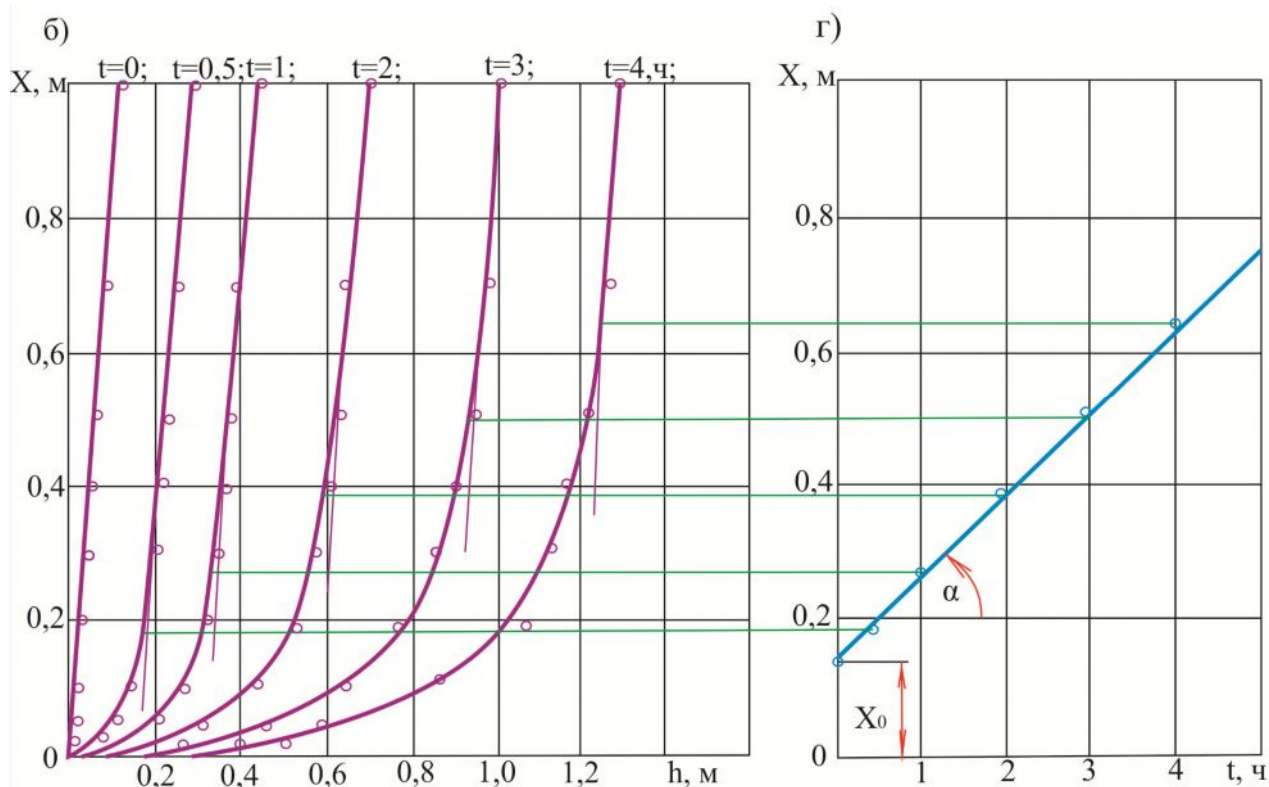


Рис.3.13 Экспериментальные графики, полученные по технологическому анализу, основанному на изучении потери напора по толщине загрузки:
 а) и б) – изменение потерь напора; в) и г) – определение параметров фильтрования.

Теория технологического моделирования процесса фильтрования малоконцентрированных суспензий позволяет определить защитное действие загрузки фильтра несколькими методами. Принятый нами метод основан на использовании зависимости [59]:

$$t_3 = \frac{1}{K'} \left(\frac{x}{V_{\phi}^{1,7} \cdot d_{ЭКБ}^{0,7}} - \frac{X'_0 d_{ЭКБ}}{V_{\phi}} \right), \quad (3.12)$$

где \$t_3\$- продолжительность защитного действия загрузки, принимаемая в нашем случае, исходя из условий эксплуатации фильтров 24 и 12ч; \$x\$ - толщина слоя загрузки, принимаемая исходя из конструктивных особенностей фильтров водоочистных установок типа «Струя» равное 1,5 м;

$$K' = K \frac{\alpha}{\beta}; \quad (3.13)$$

и

$$X'_0 = \frac{X_0}{\beta}; \quad (3.14)$$

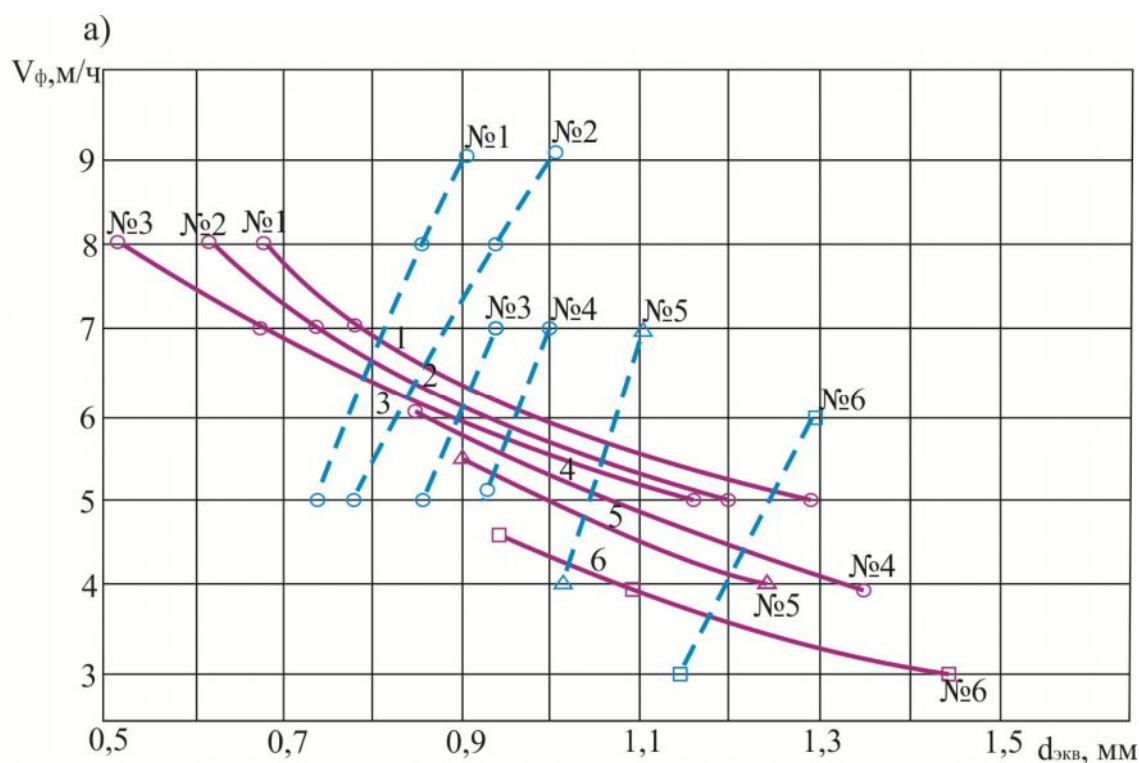
где K' , X'_0 - параметры, определяемые по данным технологического моделирования; K , X_0 - параметры, определяемые по требуемому значению C_ϕ/C_0 из [59]:

Объектами дальнейшего расчета являются значения скорости фильтрования V_ϕ величина диаметра загрузки $d_{\text{ЭКВ}}$, соответственно, в м/ч и мм. Для определения диаметра загрузки $d_{\text{ЭКВ}}$ при различных величинах V_ϕ , чтобы $t_{\text{ц}}$ составляла 12 и 24 часа необходимо решить следующее уравнение, которое в свою очередь является решением уравнений (3.12), исходя из $t_{\text{ц}}=0,9t_3$ получим:

$$\frac{x}{(X'_0 \cdot V_\phi^{0,7} \cdot \alpha_{\text{ЭКВ}}^{1,7})} - \frac{1,11t_{\text{ц}} \cdot K' \cdot V_\phi}{(X'_0 \cdot \alpha_{\text{ЭКВ}})} = 1; \quad (3.15)$$

Наиболее простое решение этого уравнения может быть получено либо методом проб, либо графоаналитическим методом.

В нашем случае для решения уравнения [32] был выбран метод проб при $x=150$ см, $t_{\text{ц}}$ равной 12 и 24 часа и изменением при заданной значений V_ϕ , $d_{\text{ЭКВ}}$. Для осуществления вычислений на параметры фильтрования при эталонных значениях V_ϕ и $d_{\text{ЭКВ}}$ в зависимости от C_0 представлены на рис.3.14 (сплошные линии).



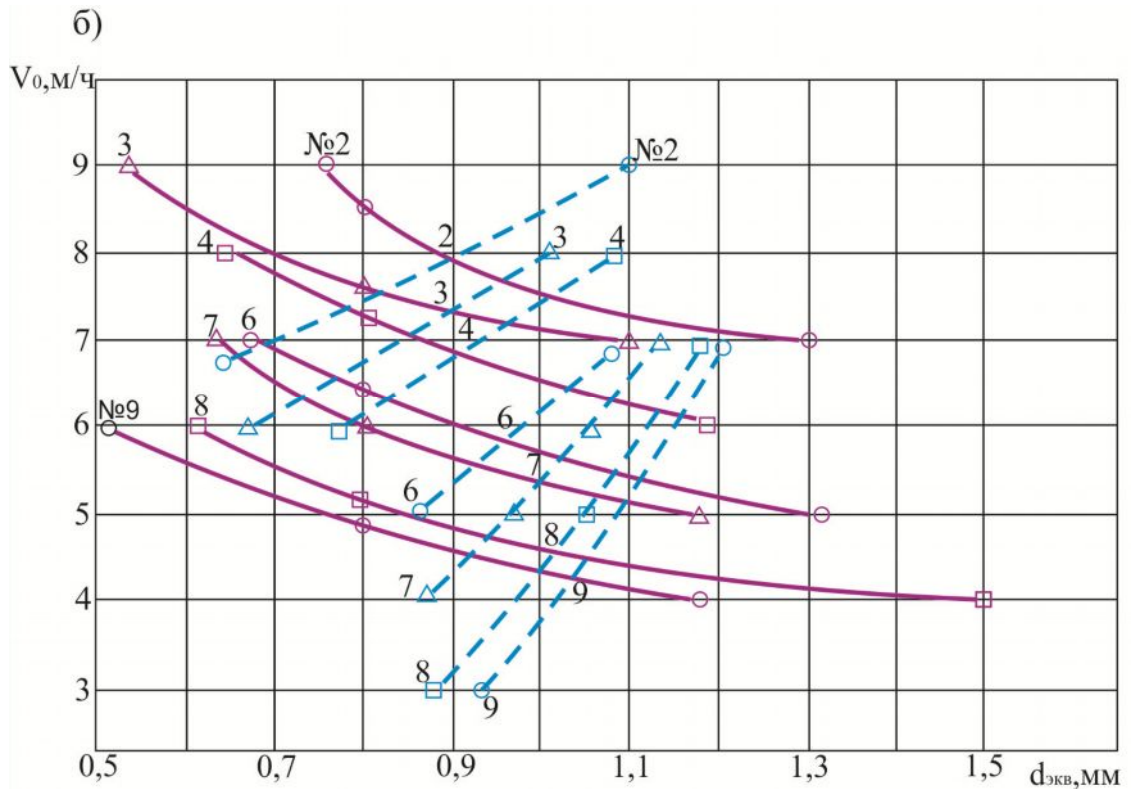


Рис.3.14 Выходные кривые по определению оптимальных значений $d_{\text{экв}}$ и $V_{\text{ф}}$ при различных значениях C_0 .

Такая методика моделирования процесса фильтрования позволяет свести решение уравнения для определения предельной потери напора на фильтрах к следующим зависимостям:

$$\frac{H_1 - H_0}{t_n} = i_0 \cdot F \cdot (A) \cdot \frac{\alpha}{\beta} \cdot V_{\text{ф}}^{1,7} \cdot \alpha_{\text{экв}}^{0,7}, \quad (3.16)$$

где $H_1 - H_0 = \Delta H_{\text{пр}}$ – предельный прирост потери напора в фильтре, принимаемый в нашем случае, равный $\Delta H_{\text{пр}} = 5$ м.в.с.

$F(A)$ -функциональный параметр, зависящий от предельной насыщенности загрузки осадков «А» по уравнению (3.16), а также выражением:

$$F(A) = \frac{h}{t} / i_0 \cdot \frac{\alpha}{\beta}, \quad (3.17)$$

где i_0 – начальный гидравлический уклон в фильтрующей загрузке в опытах по технологическому моделированию; $\frac{h}{t}$ – прирост потери напора в опытных колоннах, м/ч; α и β – параметры фильтрации, ч^{-1} , м^{-1} .

Параметры, относящиеся к определению предельной потери напора при t_H равной 12 и 24 часа при различных значениях V_Φ и $d_{\text{ЭКВ}}$ представлены в таблице 3.8.

После преобразования, в пределах значений параметров рассматриваемых опытов, из уравнения (34) и (33) получим сравнительно простые зависимости:

$$\text{при } t_H=24 \text{ ч, } F(A) = 520 \cdot \frac{d_{\text{ЭКВ}}^{1,3}}{\alpha \cdot V_\Phi^{2,7}}, \quad (3.18)$$

$$\text{при } t_H=12 \text{ ч, } F(A) = 1040 \cdot \frac{d_{\text{ЭКВ}}^{1,3}}{\alpha \cdot V_\Phi^{2,7}}, \quad (3.19)$$

Далее, преобразовав выражение

$$(1-A) = (1-A^*) \cdot \left(\frac{V_\Phi}{V_\Phi^*}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{d_{\text{ЭКВ}}}{d_{\text{ЭКВ}}^*}\right)^{0,25}, \quad (3.20)$$

получим

$$(1-A) = 0,316 \cdot (1 - A^*) \cdot \sqrt{V_\Phi} \cdot \sqrt[4]{d_{\text{ЭКВ}}}; \quad (3.21)$$

Преобразовав уравнение (3.18) получим значения $F(A)$.

В результате решений уравнений (3.18) и (3.19) графоаналитическими методами, так чтобы при различных значениях V_Φ и $d_{\text{ЭКВ}}$ разница значений указанных попарно уравнений равнялась нулю, были найдены оптимальные значения $d_{\text{ЭКВ}}$ при заданном значении (V_{ip}) для обеспечения t_H соответственно, 12 и 24 ч, результаты вычислений графически представлены на рис.3.14 (пунктирная линия). Точка пересечения двух соответствующих линий по t_3 и t_H показывает параметры работы фильтра V_Φ и загрузки $d_{\text{ЭКВ}}$ при $x=150$ см и при различных значениях V_Φ и $d_{\text{ЭКВ}}$ при $x=150$ см и при различных значениях концентрации взвешенных веществ в исходной воде C_o , которые обеспечивает продолжительность фильтроцикла 24 и 12 часов. Оптимальные значения V_Φ и $d_{\text{ЭКВ}}$ для достижения определенной продолжительности фильтроцикла в зависимости от C_o графически приведены на рис.3.15. С помощью этих графических зависимостей зная концентрацию взвесей в фильтруемой воде,

задаваясь периодом между промывками фильтра, можно определить $d_{\text{ЭКВ}}$ загрузки и V_{ϕ} фильтрования.

Таблица 3.8 – Опытные данные по влиянию концентрации взвешенных веществ на кинетику осветления и прирост потери напора

№ ПП	x , см	$d_{\text{экв}}$, мм	$V_{\text{ф}}$, м/ч	i_0 , м	C_0 мг/л	$C_{\text{ф}}/C_0$	X_0	K	x_0 , см	b , м	n , м/ч	α , ч	$\frac{\alpha}{\beta}$, м/ч	t_3 , ч	h/t см/ч	β	$\frac{\alpha}{\beta}$	A	F(A)
1	100	1,12	5,6	0,16	1,6	0,187	1,90	1,35	18	10,56	0,06	0,469	0,046	16,7	6,3	0,352	0,385	0,748	9,45
2	- “-	- “-	- “-	- “-	2,8	0,107	2,75	1,50	16	17,19	0,07	0,882	0,047	14,3	10,5	0,596	0,394	0,781	14,3
3	- “-	- “-	- “-	- “-	4,0	0,075	3,25	1,62	17	19,12	0,08	0,944	0,049	12,5	13,0	0,640	0,410	0,790	16,2
4	- “-	- “-	- “-	- “-	9,0	0,033	4,00	1,80	16	25,00	0,10	1,39	0,055	10,0	23,2	0,835	0,460	0,822	26,7
5	- “-	- “-	- “-	- “-	10,6	0,028	4,15	1,82	16	25,93	0,11	1,49	0,057	9,1	25,0	0,865	0,477	0,824	27,5
6	- “-	- “-	- “-	- “-	14,5	0,021	4,40	1,89	14	31,42	0,12	1,99	0,063	8,3	27,2	1,05	0,527	0,825	27,2
7	- “-	- “-	- “-	- “-	16,0	0,019	4,52	1,90	13	34,77	0,13	2,36	0,066	7,7	28,5	1,15	0,552	0,826	28,0
8	- “-	- “-	- “-	- “-	18,5	0,016	4,65	1,92	13	35,76	0,15	2,70	0,075	6,7	35,0	1,19	0,628	0,827	29,1
9	- “-	- “-	- “-	- “-	22,4	0,013	4,73	1,94	12	39,41	0,16	3,25	0,080	6,2	40,0	1,32	0,670	0,830	29,3

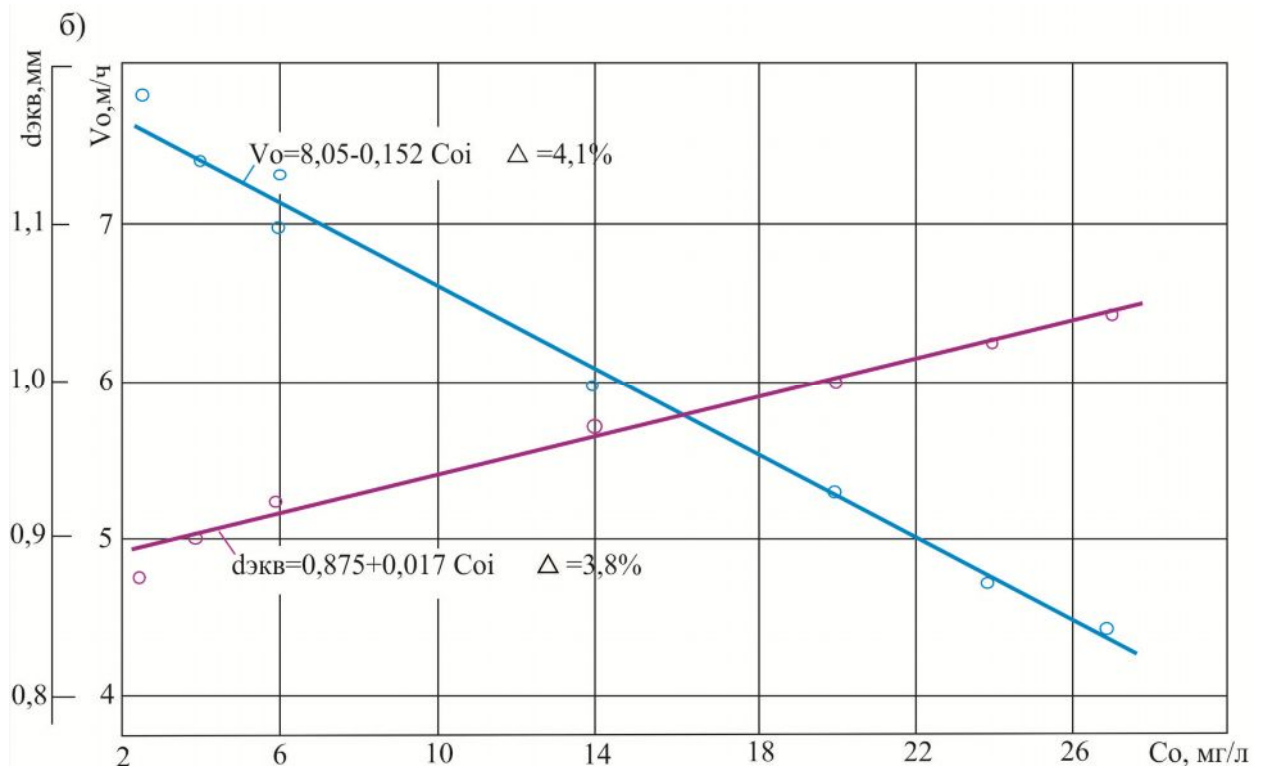
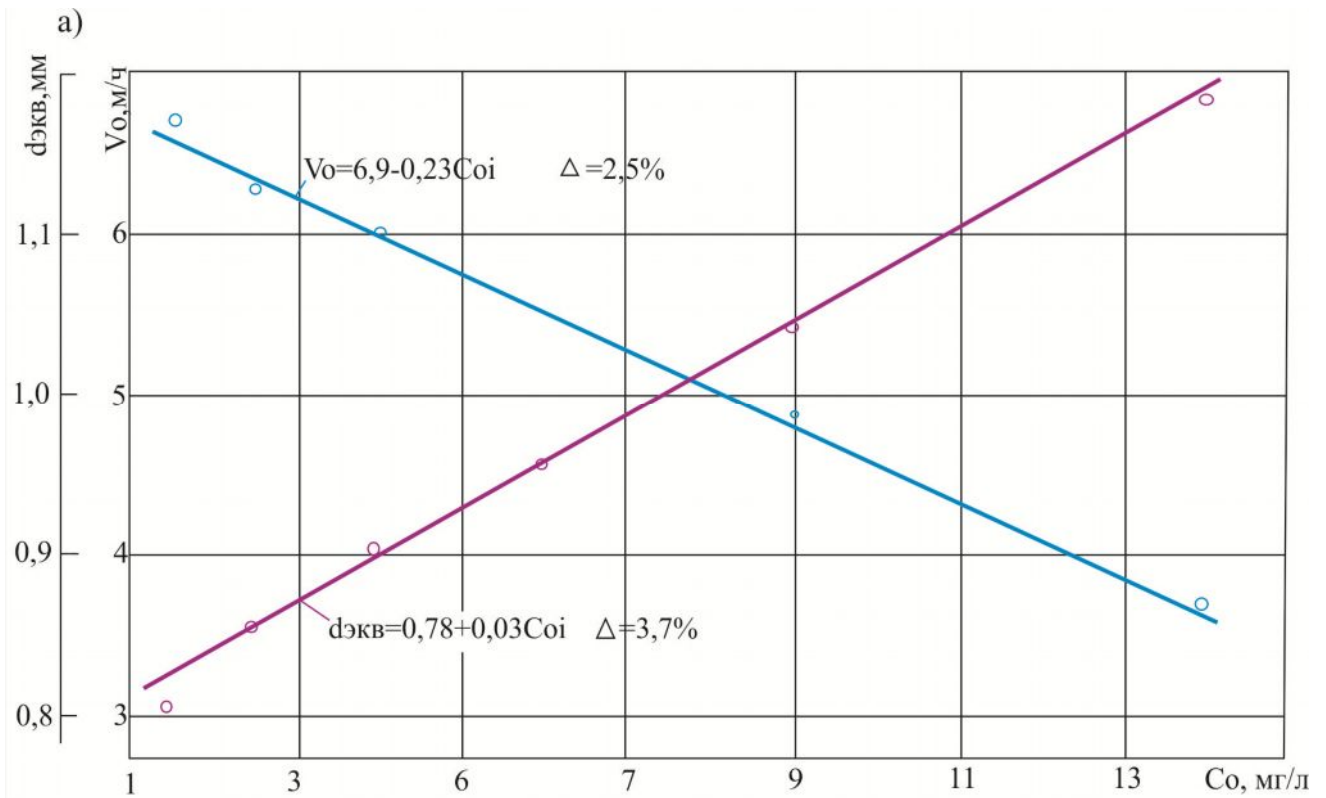


Рис.3.15 Оптимальные значения $d_{экв}$ и $V_{ф}$ для значений C_0 , которые обеспечивают $t_d = 24$ ч (а) и $t_d = 12$ ч (б)

3.4 Теоретические положения расчета параметров работы трубчатого отстойника

Для определения значения скорости потока для единичной ячейки отстойника можно использовать следующее выражение [44] :

$$V_0 = \frac{V_{\text{крит}} \cdot L_0 \cdot A_0}{L_0 \cdot A_0 + V_{\text{крит}} \cdot \Delta C \cdot F} \quad (3.20)$$

$$\text{Причем } A_0 = A + \delta_0; \quad B = \frac{A - \delta_0}{A + \delta_0}, \quad a$$

$$F = t + 2(b+1)[\sqrt{t+1} - 1 + 2b(\ln \sqrt{t+1} - b) - \ln |1-b|]; \quad (3.21)$$

где A – параметр, характеризующий свойства выпавшего осадка, г/л;
 L_0 – длина единичной ячейки отстойника, м; $V_{\text{крит}}$ – критическая скорость потока, м/ч; F – функциональный параметр, зависящий, главным образом, от продолжительности цикла отстаивания в часах.

Средние значения параметров A , δ_0 , A_0 и b для различных значений R_n раствора экспериментально определены и приведены в табл.3.9. В этой таблице также даны аналитические выражения функции F .

Для облегчения расчетов на рис.3.16 представлены графические зависимости числовых значений функции от продолжительности цикла отстаивания.

Таблица 3.10 – Значения параметров уравнений (3.20-3.21)

№	R_n воды	A , г/л	B г/л	A_0 г/л	B г/л	Вид функции F
1	6,9	13,7	4,2	17,9	0,53	$t+3,06\sqrt{t+1} + 7,45 \log \sqrt{t+1} - 6,1; (5.8)$
2	7,3	13,4	3,5	16,9	0,59	$t+3,18\sqrt{t+1} + 8,65 \log \sqrt{t+1} - 8,25; (5.9)$
3	8,0	13,0	3,0	16,0	0,62	$t+3,24\sqrt{t+1} + 9,2 \log \sqrt{t+1} - 10,85; (5.10)$

Примечание: Абсолютные значения A_0 для различных значений R_n воды не превышают 4-6%. В дальнейших расчетах для всех значений $R_n= 6,9-8,0$ рекомендуем принимать $A_0 = 17$ г/л.

Таблица 3.9 – Влияние концентрации взвешенных веществ на кинетику осветление и прирост потери напора при $V_{op} = \frac{10m}{ч}$ и $d_{ЭКВ} = 1mm$

№№ ПП	C_o мг/л	C_{op} мг/л	C_{op}/C_o	X_o	K	β^*	$\frac{\alpha}{\beta}$	X'_0	K'	$\beta_1^*, м^-$	$(\frac{\alpha}{\beta})$ м/ч	$(1-A)^*$	$F(A)=0,15[\frac{1}{(1-A)} - 1]$
1	1,5	0,3	0,200	1,80	1,36	0,400	0,210	4,5	0,285	10,0	0,107	0,310	4,9
2	2,5	0,3	0,120	2,55	1,46	0,600	0,222	4,25	0,324	12,0	0,111	0,288	6,1
3	4,0	0,3	0,075	3,25	1,62	0,785	0,232	4,14	0,376	15,7	0,116	0,268	7,6
4	6,0	0,3	0,050	3,70	1,69	0,955	0,248	3,88	0,420	19,1	0,124	0,253	9,1
5	9,0	0,3	0,033	4,02	1,80	1,150	0,268	3,50	0,483	23,1	0,134	0,237	11,0
6	14,0	0,3	0,021	4,40	1,90	1,420	0,304	3,06	0,577	28,4	0,152	0,223	13,5
7	18,0	0,3	0,017	4,60	1,93	1,600	0,334	2,87	0,645	32,0	0,167	0,215	15,1
8	22,0	0,3	0,014	4,70	1,96	1,720	0,362	2,73	0,710	34,5	0,181	0,209	16,4
9	25,0	0,3	0,012	4,80	2,00	1,860	0,384	2,58	0,77	37,3	0,192	0,204	17,5

Примечание: Здесь величины взяты исходя из табл.3.7, после выравнивания определенных расхождений, с помощью графической обработки результатов.

Для определения расчетной скорости необходимо задаваться значением критической скорости. Поэтому для дальнейших расчетов следует определить пределы изменения критической скорости, которая определяется исходя из результатов экспериментальных исследований по формуле:

$$V_{\text{крит}} = \frac{L_0 \cdot A_0 \cdot V_0}{L_0 \cdot A_0 \cdot \Delta C \cdot F \cdot V_0} \quad (3.22)$$

В таблице 3.11 представлены результаты некоторых опытов, полученные во время исследований, которые помогают получить значения критической скорости.

Таблица 3.11 – Результаты опытов для определения значений критической скорости протекания воды в отстойнике

Рн, ВОДЫ	L ₀ м	V ₀ , м/ч	ΔC, г/л	A ₀ , г/л	t, ч	f, ч	V _{крит} м/ч	V _{крит} м/ч
8,0	1	6	0,071	17,0	15,0	31	27,0	30,0
	1	8,5	0,065	17,0	9,8	23	33,0	
7,3	1	6,0	0,040	17,0	31,5	55	26,5	28,0
	1	6,0	0,030	17,0	36	74	27,5	
	1	8,5	0,070	17,0	8,1	20	30,5	
6,9	1	6,0	0,088	17,0	11,0	25	26,8	27,6
6,9	1	11,0	0,070	17,0	3,4	11	28,0	27,0
	1	11,0	0,030	17,0	15,5	32	27,2	
	1	6,0	0,26	17,0	40	84	26,0	

Примечание: так как средние значения критической скорости, при различных значениях Рн воды расходятся на 4-7%, рекомендуем принимать, в среднем критической скорости, равной 28,5 м/ч.

Полученные значения критической скорости протекания потока в ячейках отстойника составляет от 27 до 30 м/ч, а в среднем 28,5 м/ч. Известно, что при осветлении вод поверхностных источников водоснабжения в трубчатом отстойнике V_{крит} составляет 20-29 м/ч [44].

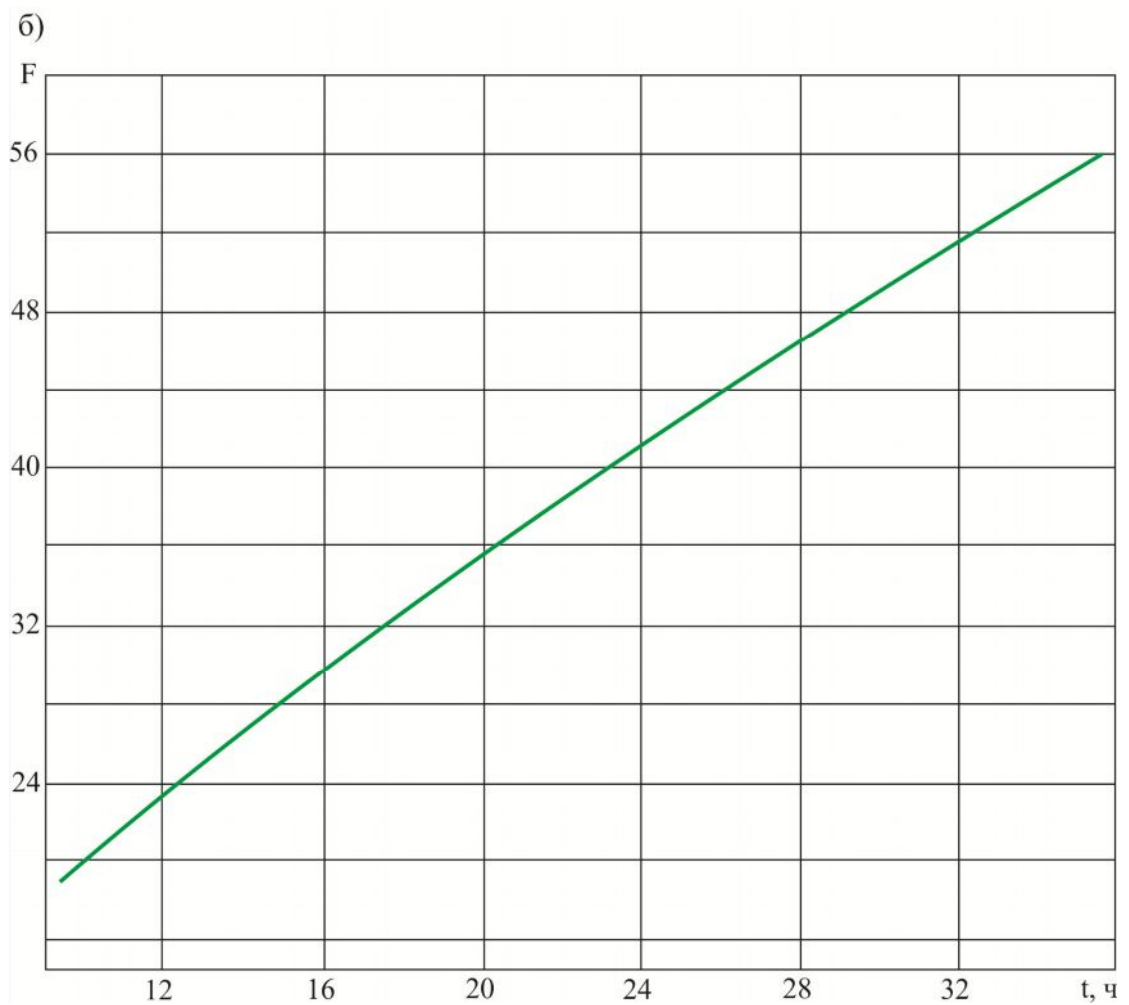
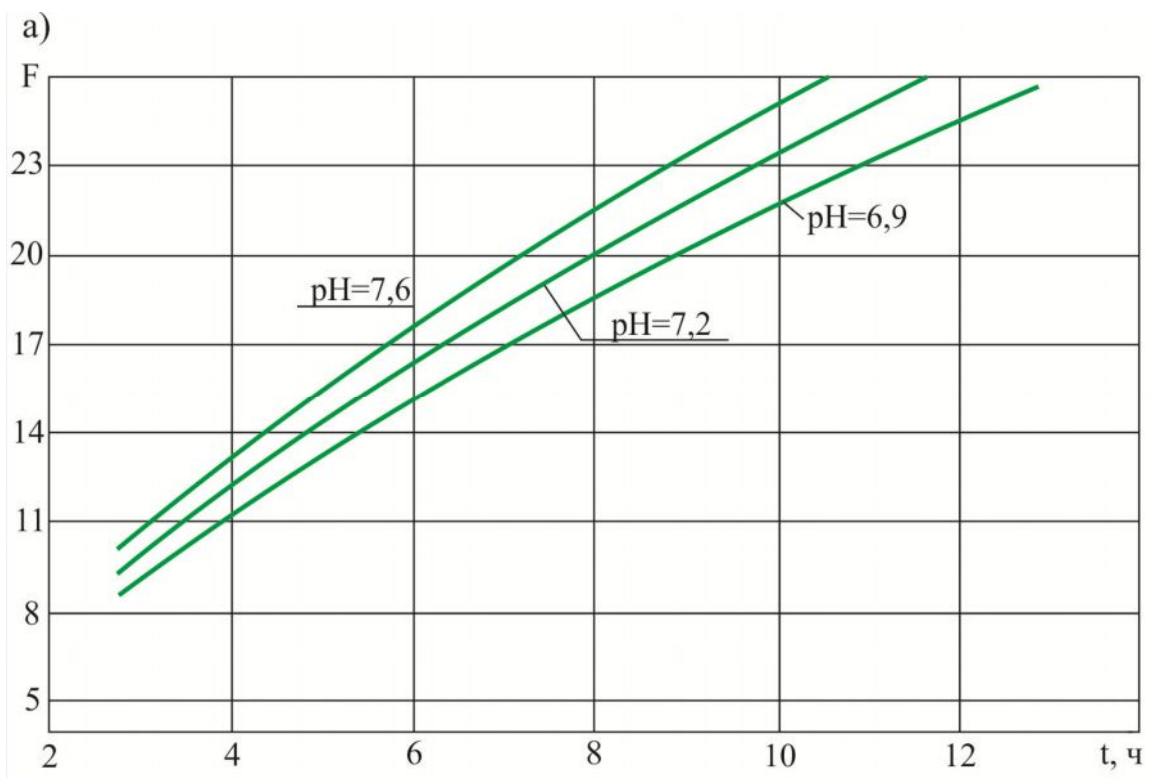


Рис. 3.16 Зависимость значения функционального параметра F от продолжительности отстоенного цикла: а) для F от 10÷20; б) для F от 20÷60

Влияние скорости потока в ячейках отстойника и концентрации задерживаемого взвешенного вещества на продолжительность осветительного цикла работы отстойника приведена на рис. 3.17.

Из этого рисунка видно, что продолжительность цикла отстаивания зависит как от величины расчетной скорости, так и от концентрации задерживаемого взвешенного вещества. Сопоставление экспериментальных данных с расчетными, показывает правильность теоретических положений расчетной методики (расхождение составляет 2-6%).

Если ΔC – средняя концентрация взвешенных веществ в воде, то тогда значение C_o и m_o можно выразить так:

$$C_o = (2 F_{исх} + K) / 1000, \text{ г/л.} \quad (3.23)$$

$$m_o = 2x F_{отст} / 1000, \text{ г/л.} \quad (3.24)$$

где $F_{исх}$ и $F_{отст}$ концентрация взвешенных веществ, соответствовали, в исходной и отстойной воде, мг/л; K -концентрация нерастворенных примесей вводимые в обрабатываемую воду, которого можно принимать равной 0,2 Дц, мг/л; 2-коэффициент пересчета концентрации железа на гидроокись и учитывающий возможность задержания органических веществ; 1000-коэффициент пересчета мг/л на г/л.

Тогда

$$\Delta C = \frac{2 (F_{исх} - F_{отст}) + K}{1000}, \text{ г/л} \quad (3.25)$$

Зная количество задерживаемой взвеси (54) в ячейках отстойника, можно определить скорость протекания воды в ячейках отстойника и продолжительность отстойного цикла.

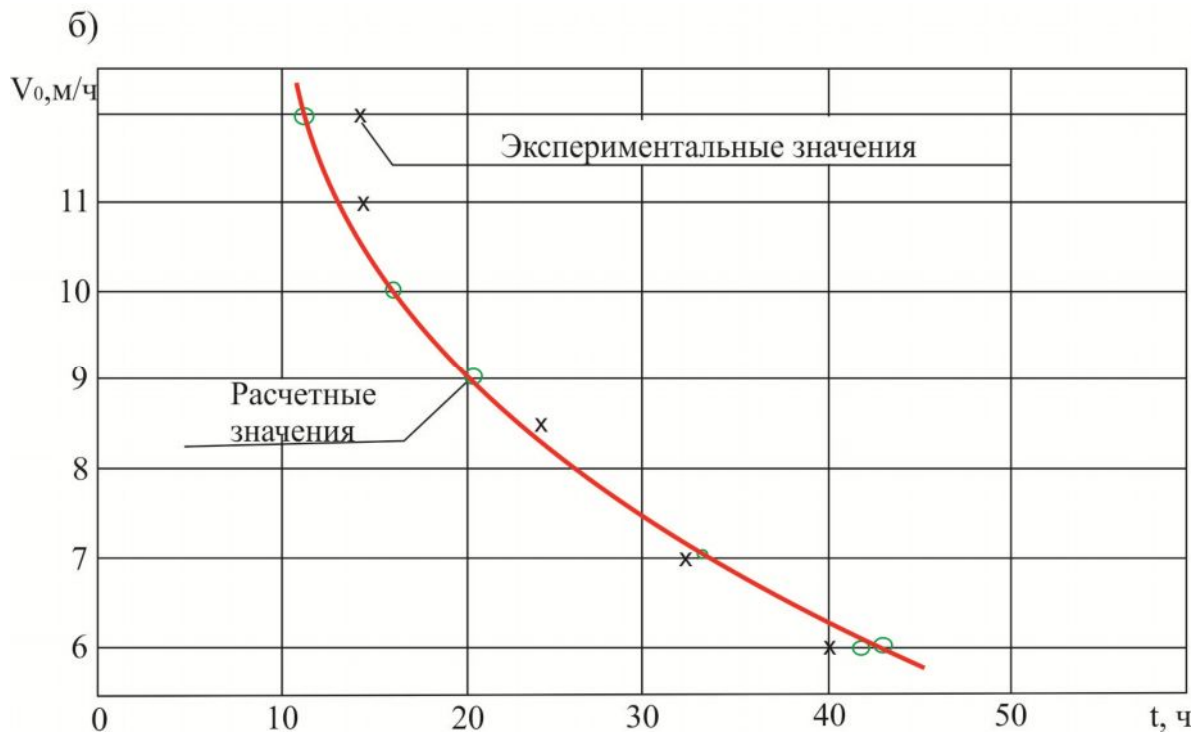
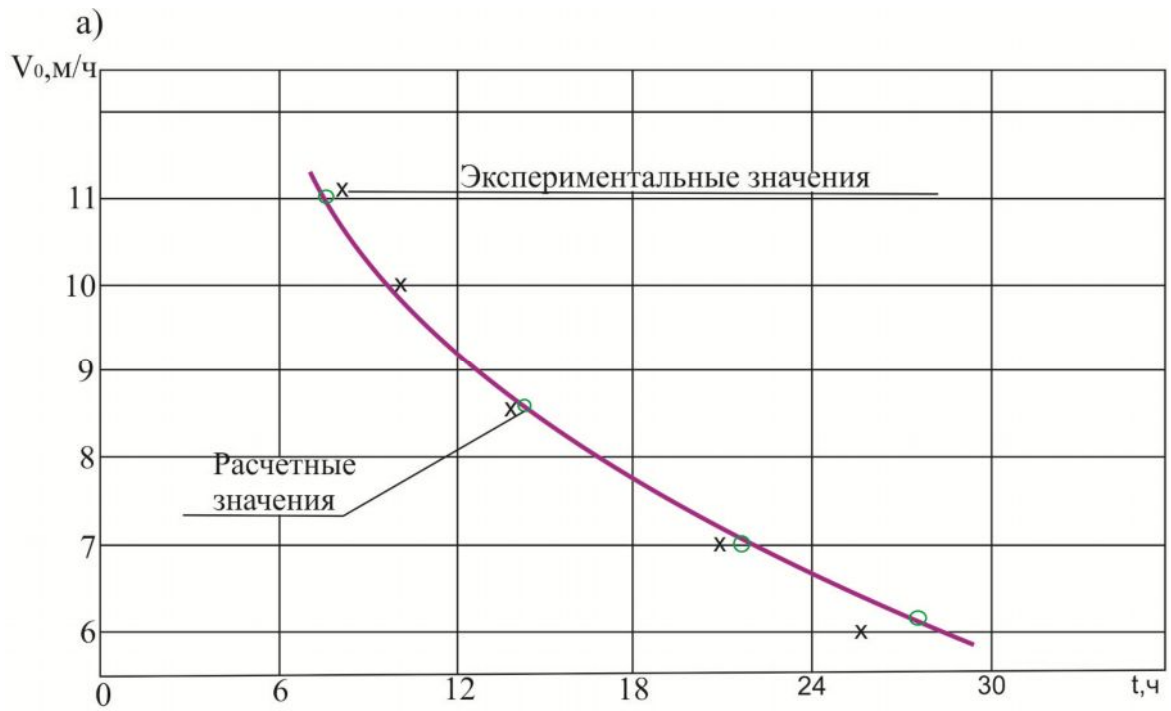


Рис.3.17 Влияние скорости потока в отстойнике на продолжительность цикла отстаивания:

- а) концентрация, задерживаемого взвешенного вещества равное 0,07 г/л;
 б) концентрация, задерживаемого взвешенного вещества равное 0,03 г/л.

3.5 Оптимизация величины расчетной скорости движения воды в ячейках отстойника

Для определения расчетной скорости протекания воды в ячейках отстойника необходимо, в уравнение (3.20) подставить выражение (3.25), тогда получим

$$V = \frac{1000 \cdot V_{\text{крит}} \cdot L \cdot A_0}{1000 \cdot L \cdot A_0 + V_{\text{крит}} \cdot F [2(F_{\text{исх}} - F_{\text{отст}}) + K]}, \quad (3.26)$$

Если в выражение (3.26) подставить среднее значение известных параметров, т.е. $V_{\text{крит}} = 28,5 \text{ м/ч}$, $A_0 = 17 \text{ г/л}$, работы отстойника получим:

$$V = \frac{484\,500 L_0}{17000 L_0 + 28,5 \cdot F [2(F_{\text{исх}} - F_{\text{отст}}) + K]}; \quad (3.27)$$

Подставляя выражение (3.5) в (3.27) и принимая «К» равным $0,2 Du$ получим :

$$V_0^3 - 1,47 V_0^2 - C_1 V_0 + C_2 \quad (3.28)$$

$$\text{Здесь } C_1 = 131228 \frac{L_0}{F \cdot F_{\text{исх}}} + 44 \frac{Du}{F F_{\text{исх}}} + 5,7 \cdot Du - 0,03 D^2 u + 1,6 F_{\text{исх}} \cdot 142$$

$$\text{и } C_2 = 850000 \cdot L / F_{\text{исх}} \cdot F;$$

Уравнение (3.28) можно решить известными методами (46 и др.)

Для определения продолжительности осветительного цикла работы отстойника необходимо исходить из осветительного цикла единичной ячейки (трубчатого элемента). Это требует определения значения функционального параметра p из выражения (3.26).

Значение F можно определить при известной величине скорости протекания потока – V_0 и ее значение можно определить исходя из выражения (3.5),

$$V_0^2 - 1,47 \cdot V_0 + 4,46 (67,77 -$$

$$100 \cdot F_{\text{исх}} F_{\text{исх}} - 1,28 \cdot Du + 0,0067 \cdot D^2 u - 0,37 \cdot F_{\text{исх}}) =$$

$$= 0; \quad (3.29)$$

После определения V_0 и подставляя ее значение в (3.26) получим

$$F = \frac{100 \cdot L_0 (484,5 - 17 V_0)}{28,5 \cdot V_0 [(F_{\text{исх}} - F_{\text{отст}})]} \quad (3.30)$$

Зная величину F по графику приведенному на рис. 3.17 или с помощью выражений (3.27)–(3.30) можно определить продолжительность осветительного цикла работы отстойника– t .

Выводы по третьей главе

1. Исследованием процесса осветления речных вод, содержащих высоконцентрированные взвеси с помощью метода математического планирования эксперимента, получена регрессионная зависимость для определения эффекта осветления воды в отстойнике при исходной концентрации взвеси от 15 до 40 мг/л, скорости протекания воды в ячейках отстойника 5-12 м/ч и дозах каолина 40-70 мг/л.

2. Выявлено, что при обработке речной воды, содержащей высоконцентрированные взвеси, подвергнутой подщелачиванию, в тонкослойном отстойнике наблюдается высокий, стабильный эффект удаления взвеси, который достигает 60-95%. Время нахождения воды в отстойнике при этом составляет 6-12 мин, что в 6-10 раз меньше по сравнению с применяющимися в настоящее время сооружениями для предварительного осветления. Одновременно повышается надежность работы сооружения и упрощается процесс удаления осадка из отстойника.

3. Определено, что продолжительность осветительного цикла работы отстойника изменяется главным образом в зависимости от скорости протекания воды в ячейках отстойника, концентрации выпадающей взвеси и составляет 20-33 ч.

4. Для эффективной работы осветительной установки объем и конструкция камеры хлопьеобразования должны обеспечить 15 минутное пребывание в ней обрабатываемой воды, а R_n воды, обработанной гипохлоридом натрия, должен быть не менее 7,1.

5. Продолжительность промывки установки составляет в пределах 6-8 минут. При этом расход промывной воды составляет до 2,5% от производительности установки.

В отстойнике и фильтре наряду с выделением взвеси происходит уменьшение окисляемости обрабатываемой воды до 70%. При этом легкоокисляемые восстановители окисляются кислородом воздуха, а часть трудноокисляемых восстановителей адсорбируются на хлопьях гипохлорида натрия.

ГЛАВА 4

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ УСТАНОВКИ ЗАВОДСКОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЛЯ ОСВЕТЛЕНИЯ РЕЧНОЙ ВОДЫ

4.1 Рекомендуемая технологическая схема очистки речных вод для питьевого водоснабжения

Результаты исследований, изложенные в предыдущих главах, показали возможность эффективного использования тонкослойного отстойника для предварительной обработки и зернистого фильтра для окончательной очистки речных вод от взвешенных и органических веществ после обработки исходной воды реагентами.

Рекомендуемая технологическая схема сооружений для подготовки речных вод с использованием установок типа «Струя» [100] и водоочистной установки «Керемет» [99,7] представлена на рис.4.1. Установка в целом состоит из следующих основных узлов: напорного отстойника с трубчатыми заполнителями; напорного зернистого фильтра; оборудования для подачи исходной воды и приготовления и дозирования реагентов.

Принцип работы осветляющей установки заключается в следующем: исходная вода с помощью насоса 5 подается в камеру хлопьеобразования 9. Реагенты 6, дозируются во всасывающую линию насоса. В камере хлопьеобразования завершается формирование хлопьев и происходит коагуляция исходной воды и вода далее поступает в тонкослойный отстойник 10, где происходит частичное выделение взвешенных веществ. Отстоянная вода фильтруется через зернистую загрузку напорного фильтра 11 и фильтрат под остаточным напором по трубопроводу 12 поднимается в водонапорную башню 13. В фильтрат 12 дозируется реагент 7. Вода, находящаяся в водонапорной башне на нужды потребителей подается по трубопроводу 14.

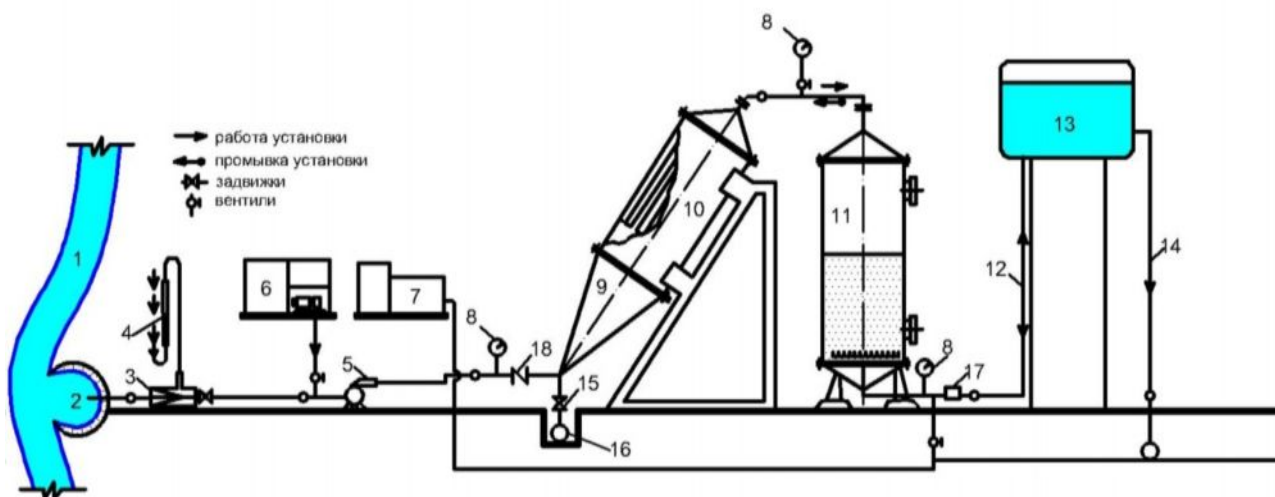


Рис.4.1 Рекомендуемая технологическая схема для обработки речных вод содержащих высококонцентрированные взвешенные вещества с использованием установки «Керемет»:

1 – река; 2 – водозабор; 3 – эжектор; 4 – ротаметр; 5 – насос; 6 – оборудование для приготовления и дозирования щелочного реагента; 7 – блок для обеззараживания воды; 8 – манометр; 9 – камера хлопьеобразования; 10 – отстойник с трубчатыми заполнителями; 11 – фильтр; 12 – трубопровод очищенной и промывной воды; 13 – водонапорная башня; 14 – подача воды от башни потребителям; 15 – технологический вентиль; 16 – коллектор для отвода промывной воды; 17 – водомер; 18 – обратный клапан.

Работа установки по описанной технологической схеме протекает при закрытом положении операционного вентиля 15. Для промывки фильтра и отстойника, при наличии воды в промывном отсеке водонапорной башни 13, необходимо открыть вентиль 15. Промывная вода отводится в канализацию по коллектору 16.

Приведенная технологическая схема подготовки речных вод с использованием существующей установки заводского изготовления отвечает специфическим условиям применения оборудования в небольших станциях: простота обслуживания, надежность в работе, а также минимальная металлоемкость и компактность. Повышение компактности обеспечивается также применением технологической схемы напорного типа, позволяющей отказаться от промежуточной насосной станции второго подъема и резервуаров-хранилищ для очищенной воды, устройство, которых в локальных

системах водоснабжения существенно удорожает их стоимость. Использование нижней части водонапорной башни для хранения воды необходимой на промывку установки, дает возможность отказаться от применения промывных насосов со сравнительно высокой мощностью и упрощает процесс промывки установки в целом.

Использование рекомендуемой технологической схемы для подготовки речных вод одновременно с выделением взвешенных веществ до требований ГОСТа «Вода питьевая» обеспечивает получение стабильного (по коррозионности) фильтрата с наименьшим содержанием растворенного кислорода, что предотвращает дальнейшую коррозионность обработанной воды. Кроме того использование установок «Струя» становится незаменимым для очистки речных вод от любых форм и концентраций взвешенных веществ, получаемых из речных вод. В этом случае тонкослойный отстойник выполняет функцию взвесе уловителя и если необходимо для предварительного выделения гидроокиси железа, а напорный скорый фильтр обеспечить окончательную очистку воды от взвешенных веществ.

Технические параметры водоочистных установок различной производительности и характеристика основных элементов выпускаемых промышленностью, согласно данным [16,31,100], приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Основные технические параметры и элементы установок типа «Струя»

Технические параметры и наименование элементов установки	Значение			
	2			
1	2			
Производительность, м ³ /сут .	100	200	400	800
Рабочее давление, кПа	300	300	300	300
Металлоемкость, т	2,8	4,8	6,3	12,8
Мощность, 10 ⁴ ес	21,8	22,2	26,7	33,0
Отстойник, шт.	1	2	1	2
Диаметр, м	1	1	2	2
Длина трубчатых заполнителей, м	2	2	2	2
Фильтр шт.	1	2	1	2
Диаметр, м	1	1	2	2

Баки реагентов винипластовые, двухсекционные в металлической опоре, шт.	2	2	2	2
Расчетная емкость, м ³	0,3	0,3	2	2
Рабочий насос, шт	2	2	2	2
Насос дозатор, шт.	3	3	3	3
Электролизная установка, шт.	1	1	1	1
Габариты здания в плане, м	9x9	9x12	9x12	9x15

Параметры работы основных элементов установки «Струя» для различной производительности, определяются согласно зависимостям, приведенным в третьей главе диссертации.

Следует отметить, что в отстойнике необходимо использовать трубчатые элементы из материалов, на которые имеются разрешение Минздрава КР и обладающие минимальной толщиной стенок (до 5-7% от их диаметра, при диаметре 30-50мм, например, полипропилен, полиэтилен низкой и высокой плотности и др.), которые обеспечивают высокий коэффициент использования объема отстойника и являются недорогим материалом.

При оформлении заказа, заводу изготовителю, необходимо просить, чтобы длина трубчатых заполнителей отстойника составляла 1,5 м. Для этого решетку, на которую опираются заполнители необходимо перенести на 0,5 м вверх от нижней части отстойника. Это позволит увеличить объем камеры хлопьеобразования до оптимальной величины.

На практике очистную установку со всеми оборудованиями необходимо располагать в одном здании. Для строительства зданий установки производительностью 100,200,400 и 800 м³/сут., соответственно потребуется 627, 828, 807 и 1007 чел-дней.

С целью утилизации извлеченного осадка из воды необходимо предусмотреть емкости для приемки промывного расхода рассчитанного на 2 промывки. Во время эксплуатации необходимо осветленную воду из этих емкостей перекачивать в воздухоотделительный бак, а осадок периодически удалять на иловые площадки.

Водонапорные башни, здание очистной станции, вспомогательные помещения и иловые площадки следует принимать по существующим типовым разработками указаниям для систем водоснабжения малых и сельских населенных мест.

4.2 Технико-экономическая эффективность использования установки заводского изготовления для очистки речных вод

При проведении расчетов для оценки экономической эффективности применения установок производительностью $100\div 800 \text{ м}^3/\text{сут}$. Используются материалы проектов, эксплуатируемых сооружений и исследовательских работ имеющихся на 2015 г. и во всех случаях сметная стоимость оборудования и сооружений определена по действующим нормам и ценам.

В качестве единицы сравнения в предлагаемых и базовых вариантах взят комплекс, совмещенный с насосной станцией второго подъема и при необходимости башня, для промывки установки, а также устройство для приготовления и дозирования реагентов.

Для экономического расчета предлагаемого варианта (см.рис.4.1) были использованы типовые проекты разработанные на водоочистные установки типа «Струя» с изменением состава сооружений (исходя из п.4.1.) и соответствующих затрат, согласно данным укрупненных показателей очистных сооружений [94].

В качестве базовых вариантов приняты 2 действующие станции и 2 проектных решения. Действующие станции – станции осветления, которые включают соответственно, традиционный отстойник и осветлитель со взвешенным осадком. Экономические показатели этих вариантов взяты исходя из опыта строительства и эксплуатации указанных станций.

Проектные решения – варианты очистных станций, включающие напорный флотатор, скорый фильтр, реагентное хозяйство, двухступенчатое фильтрование с предварительной обработкой воды активным хлором и

стабилизацией фильтрата с помощью известкового раствора. Экономические показатели проектных решений приняты, исходя из данных [114] и типовых проектов, учитывая некоторые технологические изменения, которые предусматривают использование реагентов.

Технологический состав, параметры работ и принятые номера рассматриваемых вариантов приведены из табл. 4.1. Производительности сравниваемых вариантов не совпадают, но находятся в возможном диапазоне сопоставления. Это позволяет в дальнейшем графическим путем ориентировочно определить разницу численных значений экономических показателей рассматриваемых вариантов для одинаковой производительности.

Капитальные затраты для всех рассматриваемых вариантов приведены в табл. 4.2.

Эксплуатационные затраты рассматриваемых вариантов определялись с включением стоимости электроэнергии, заработной платы персонала, амортизационных отчислений и текущего ремонта, а также реагентов и прочие расходы согласно данным [94]. Тариф на электроэнергию определялся исходя из стоимости 1-го 107ес/час 2,16 сом. Состав и заработная плата обслуживающего персонала определялась в соответствии с действующими нормами и тарифами. Сводные данные по заработной плате сравниваемых вариантов очистных станций приведены в табл. 4.3.

Стоимость реагентов определялась в соответствии с данными Департамента питьевого водоснабжения и водоотведения Государственного агентства архитектуры, строительства и жилищно-коммунального хозяйства при Правительстве Кыргызской Республики КР.

Суммарные данные эксплуатационных затрат по элементам представлены в табл.4.4.

Приведенные затраты сравниваемых вариантов были подсчитаны по формуле

$$H_i = C_i + E_H \cdot K_i, \text{ тыс. сом.} \quad (4.1)$$

где C_i – эксплуатационные затраты по i -ому варианту, в тыс.сом; K_i – капитальные вложения i -ого варианта, в тыс.сом; F_{II} – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, он принят равный 0,15, что обеспечивает срок окупаемости капитальных вложений – 6,7 лет.

Себестоимость обработки воды определена исходя из

$$S_{y\partial} = \frac{C_i}{(Q_{\text{год}})_i}, \text{ сом/м}^3 \quad (4.2)$$

где $(Q_{\text{год}})_i$ – годовая производительность установок по i -ому варианту, м³/год.

Полученные значения C_i, P_i и $S_{y\partial}$ для всех рассматриваемых вариантов представлены в табл. 4.5. Полученные результаты указывают на значительную экономическую эффективность использования предлагаемых установок. При этом снижается не только капиталовложения и себестоимость обработки воды, но и основной экономический показатель – приведенные затраты в среднем на 160÷200 тыс.сом.

Таблица 4.2 – Капитальные затраты очистных станций

Элементы комплекса подготовки воды	Порядковые номера вариантов											
	Базовые								Предлагаемые			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Очистные сооружения совмещенные со станциями второго подъема, тыс.сом	54,7	148,2	48,9	48,0	48,0	90,7	32,2	60,7	28,6	36,6	39,10	54,1
Станция обеззараживания, тыс.сом	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3				
Водонапорная башня для промывки, тыс.сом									2,4	2,4	2,4	2,4
Общая стоимость комплекса, тыс.сом	70,0	163,5	64,2	155,6	63,3	106,0	47,5	76,0	31,0	39,0	41,5	56,5
Удельные капитальные вложения, сом на м ³ суточной производительности K _{уд}	292	163	2567	156	264	106	235	95	310	185	102	71

Таблица 4.3 – Заработные платы обслуживающих персоналов сравниваемых вариантов

Сравниваемые варианты		Состав обслуживающего персонала				Годовой фонд зарплаты, тыс.сом	Суммарный годовой фонд, тыс. сом
		Операторы сооружений		Операторы реагентов			
Профессиональные и стоимостные показатели	Разряд	III	II	III, вред.	II, вред.		
	Тарифная ставка, сом/ч						
Базовые варианты производительностью, м ³ /сут		47,9	44,0	53,9	49,5		
Предлагаемые варианты производительностью, м ³ /сут	200	1	2	1	1	7,10	10,90
	400	1	3	1	1	8,41	12,90
	800	4		2	2	12,4	19,00
	1000	4		3	3	14,65	22,60
	1000	1			2	4,29	6,65
	200	1		1	1	4,42	6,80
	400	1	1	1	1	5,71	8,80
	800	2		2	8	5,95	9,15

Примечание: Число часов в году при трехсменной работе 2920ч. Суммарный годовой фонд взят с учетом коэффициента неявок, равный 1,54.

Таблица 4.4 – Эксплуатационные затраты очистных станций, в тыс.сом

Показатели \ Номера	Порядковые номера сравниваемых вариантов											
	Базовые								Предлагаемые			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Электроэнергия	6,08	11,49	6,06	11,45	5,61	10,85	5,08	9,49	2,93	3,28	4,19	4,71
Заработная плата	7,64	12,29	7,66	12,33	7,39	13,57	6,75	11,83	3,92	4,22	5,21	5,19
Расходы на реагенты	0,79	3,30	0,79	3,30	0,40	1,65	0,40	1,65	0,16	0,32	0,66	1,32
Текущий ремонт	0,70	1,64	0,64	1,55	0,63	1,06	0,47	0,76	0,31	0,39	0,42	0,56
Сумма:	15,21	28,72	15,15	28,63	14,03	27,13	12,70	23,73	7,32	8,21	10,48	11,78
Прочие расходы	0,91	1,72	0,91	1,71	0,84	1,64	0,76	1,42	0,44	0,49	0,63	0,70
Амортизационные отчисления	3,50	8,15	3,22	7,76	3,16	5,30	2,37	3,80	1,55	1,95	2,07	2,82
Итого:	19,62	38,59	19,28	38,10	18,03	34,07	15,83	28,95	9,31	10,65	13,18	15,30

Таблица 4.5 – Технологический состав и параметры работы рассматриваемых вариантов

Технологический состав и показатели	Базовые варианты								Предлагаемый вариант			
	Градирия и смеситель				Устройство для подачи воздуха							
Комплекс сооружений для осветления и обеззараживания воды, совмещенные с насосной станцией второго подъема	Вертикальный отстойник, скорый фильтр		Осветлитель со взвешенным осадком, скорый фильтр		Напорный флотатор, скорый фильтр		Фильтры для первой и второй ступени фильтрования		Устройство для аэрации воды, тонкослойный отстойник, скорый фильтр и реагентное хозяйство			
	и реагентное хозяйство				и реагентное хозяйство							
Режим работы	Открытый		Открытый		Открытый		Напорный		напорный			
Концентрация взвешенных веществ, мг/л	До 40		До 40		До 40		До 20		До 20			
Производительность, м ³ / сут.	240	1000	240	1000	240	1000	200	800	100	200	400	800
Принятые номера вариантов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Оценка суммарной величины экономии от применения предлагаемой очистной установки зависит от массовости их внедрения.

Таблица 4.6 – Суммарные технико-экономические показатели очистных станций

№№ п/п	Q м ³ /сут.	Особенность варианта	Показатели, в тыс.сом				
			K, тыс. сом	E _н ·K, тыс. сом	C, тыс. сом	П, тыс. сом	S, сом/м ³
1	2	3	4	5	6	7	8
1	240	Традиционный отстойник	70,0	10,5	19,62	30,12	22,5
2	1000		163,5	24,5	38,59	63,09	10,5
3	240	Осветлитель совзвеш. Осадком	64,2	9,6	19,28	28,88	22,1
4	1000		155,6	23,4	38,10	61,50	10,4
5	240	Напорный Флотатор	63,3	9,5	18,03	27,53	20,6
6	1000		106,0	15,9	34,07	49,97	9,3
7	200	Напорные фильтры 2-х ступен.	47,5	7,1	15,83	22,93	21,6
8	800		76,0	11,4	28,95	40,35	9,9
9	100	Тонкослойный отстойник, установки типа «Струя»	31,0	4,6	9,31	13,91	25,5
10	200		39,0	5,9	10,65	16,55	14,5
11	400		41,5	6,2	13,18	19,38	9,0
12	800		56,5	8,5	15,30	23,80	5,2

В результате внедрения только в одно проектное решение, установки «Струя» экономический эффект по приведенным затратам, составил 180 тыс.сом, а себестоимость воды уменьшилась в 1,7 раза по сравнению с действующим технологическим решением.

В масштабах республики по самым различным подсчетам количество требуемых установок в год колеблется в пределах от нескольких десятков до нескольких сот объектов. Если исходить из минимальных масштабов внедрения 10 установок в год, то при этом экономический эффект в среднем должен составить не менее 1800 тыс.сом.

Выводы по четвертой главе

1. На основании результатов экспериментальных и теоретических исследований предложена технологическая схема для очистки речных вод от взвешенных веществ с использованием установок заводского изготовления выпускаемой промышленностью с некоторыми конструктивными модификациями и дополнением аэрационного устройства.

2. Проведены технико-экономические расчеты для оценки экономической эффективности от использования рекомендуемой установки в сравнении с действующими и существующими решениями станций осветления и обеззараживания, предусматривающих двухступенчатую очистку с использованием реагентов. Выявлена экономическая эффективность использования рекомендуемой установки, показывающая возможность уменьшения капиталовложений в 1,8-2,5 раза, а эксплуатационных затрат и себестоимости обработки воды в среднем, в 1,7 раза по сравнению с действующим типовым решениями.

3. От внедрения одной установки типа «Керемет» в проектных решениях экономический эффект по приведенным затратам составил 180 тыс.сом. по сравнению с типовым решением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучена особенность формирования качества отдельных речных вод на территории предгорной зоны Чуйской долины. Установлено, что качество речных вод в виду контакта с горными породами, содержащими гумусовые вещества, изменяется в зависимости от времени года (115есеннее-осенние паводковые и зимние периоды): мутность изменяется в пределах – 2600 ± 220 мг/л; цветность – 1600-30 градусов; жесткость – 4,5-4,3 мг-экв/л; Р – 500-450 мг/л; ХПК – 190-90 мгО₂/л; перманганатная окисляемость – 31-9 мгО₂/л.

2. Экспериментальными исследованиями установлено, что наиболее эффективное удаление взвешенных и гумусовых веществ достигается осаждением их в малых слоях воды и фильтрованием через зернистые слои кварцевой загрузки, после полной обработки исходной воды окислителями и раствором каолина.

3. Выявлено, что процесс выделения взвешенных веществ в тонкослойном отстойнике, имеющего ограниченный объем для накопления осадка, носит циклический характер и эффект осветления воды, главным образом зависит от скорости потока в ячейках отстойника, дозы реагентов и исходной концентрации взвешенных веществ. Для надлежащей подготовки сформировавшегося осадка взвесей, которые выпадают в отстойнике, объем камеры хлопьеобразования вихревого типа совмещенной с отстойником должен обеспечивать продолжительность пребывания обрабатываемой воды в ней 12-15 мин.

4. Установлено, что при обработке речной воды в тонкослойном отстойнике с концентрацией взвешенных веществ 2000 мг/л при скорости протекания потока воды в ячейках 5-10 м/ч и дозах окислителя 5 мг/ и дозы каолина 20 мг/л, эффект осветления воды составляет 80-98%, а продолжительность осветлительного цикла отстойника 30-43 ч.

5. Получены расчетные зависимости для определения эффекта осветления воды в зависимости D_k , $D_{ок}$ и V_o . Величины эффекта осветления воды в

тонкослойном отстойнике заводского изготовления и параметров его работы можно определять при заданных значениях варьируемых величин.

6. Исследован процесс фильтрования речной воды, содержащей остаточные взвеси после отстойника на скором фильтре с использованием пьезометрического метода технологического моделирования процессов фильтрования. Получены экспериментальные и теоретические зависимости для определения параметров работы фильтра осветляющих установок при различных концентрациях взвеси в фильтруемой воде.

7. Разработана обобщенная методика расчета параметров работы основных элементов установок заводского изготовления при очистке речных вод от высококонцентрированных устойчивых форм взвешенных веществ.

8. Разработана технологическая схема для очистки речных вод от высококонцентрированных устойчивых форм взвешенных веществ в системе централизованного водоснабжения сельских и небольших населенных мест с использованием конструктивно модифицированных установок «Струя».

9. Показано, что использование разработанной технологической схемы осветления воды позволяет снизить капиталовложения в 1,8-2,5 раза, приведенные затраты и себестоимость обработки воды, в среднем, в 1,7 раза.

Внедрение одной, установки заводского изготовления производительностью 400 м³/сут позволило снизить себестоимость обработки воды в 1,7 раза и получить годовой экономический эффект 180 тыс. сом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдурасулов А.И. Исследования фильтровальных характеристик песка Ивановского карьера для питьевого и промышленного водоснабжения. [Текст]: дис.... К-та тех.наук: 05.23.04/ А.И. Абдурасулов. – М.,1977. – 143 с.

2. Абдурасулов А.И. Особенности поверхностных вод Кыргызской Республики // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. –Том 14.- №2.- Бишкек: ИЦ «Текник»,2008. – С. 111- 117.

3. Абдурасулов А.И., Мельцер В.З. Технологическое моделирование процесса очистки вод фильтрованием // Вестник Казахской Головной архитектурно- строительной академии. -№ 2. – Алматы: КазГАСА, 2008.- С. 15- 22.

4. Абдурасулов И.А., Абдурасулов И.А. Исследование процесса фильтрования для осветления воды // Материалы IV Международной научно-практической конференции « Технология очистки воды. Техновод – 2008».- Новочеркасск: ООО «Оникс +», 2008.- С. 130- 136

5. Абдрасулов, И. Исследование эффективности подготовки и безопасности питьевой воды [Текст] / А.И. Абдрасулов // Изв. КГТУ №14 Бишкек, 2008. – С.108-110.

6. Абдурасулов, И. Водообеспечение и очистка сточных вод Кыргызской Республики. ДСП [Текст] / И. Абдрасулов. – Бишкек: Илим, 1994. – 449 с.;

7. Абдурасулов, И. Обеспечение населения сельской местности Кыргызской Республики питьевой водой [Текст] / И. Абдурасулов, А.С. Токтошев, Р.Ш. Мамбетова // Науч.-техн.конф. «Яковлевские чтения» 18-19 марта 2014г.: сб. докл. – М.: Изд. МИСИ-МГСУ, 2014. – С.48-51.

8. Абдурасулов И. Очистка подземных вод от высококонцентрированных устойчивых форм железа на установках заводского

изготовления. [Текст]: дис.... К-та тех.наук: 05.23.04/ И.Абдурасулов. – М.,1977. – 143 с.

9. Абдурасулов, И. Влияние метода обеззараживания питьевой воды на здоровье людей [Текст]/ И. Абдурасулов, Р.К. Абдурасулов, Р.Ш. Мамбетова // Матер. Междун. Науч.-практ.конф. «Техносферная безопасность: наука и практика». – Бишкек: КРСУ, 2015. – С.38-41

10. Абдурасулов, И. Влияние физико-механических свойств грунтов на прокладку траншей [Текст] / И. Абдурасулов, Т.К. Джумагалиев, Р.Ш. Мамбетова // Междун.науч.журн. «Инновационная наука», №4, ч.3. – Уфа: «Аэтерна», 2016. – С.97-100.

11. Абдурасулов, И. Диагностика подземных водопродных сетей [Текст] / И. Абдурасулов, Т.К. Джумагалиев, Р.Ш. Мамбетова // Символ науки, №3 – Уфа: «Омега-сайнс», 2016. – С.39-42

12. Абдурасулов И. Водоснабжение сельских населенных пунктов Кыргызской Республики [Текст] / И. Абдурасулов, Р.Ш. Мамбетова // Символ науки, №1 – Уфа: «Омега-сайнс», 2016. – С.74-78

13. Абдурасулов, И. Обеспечение населения сельской местности Кыргызской Республики питьевой водой [Текст] / И. Абдурасулов, Р.Ш. Мамбетова, А.С. Токтошев // Сб.докл. IX науч.-техн.конф., посвящ. 100-летию акад. РАН Яковлева С.В. «Яковлевские чтения». – М.: МИСИ-МГСУ, 2015. – С. 48-51

14. Абдурасулов, И. Введение в профессию [Текст] /: учеб. Пособие для вузов / И. Абдурасулов, Р.Ш. Мамбетова, Д.П. Халимов // Бишкек, КРСУ, 2016. – 187 с.

15. Абдурасулов, И. Мероприятия по улучшению состояния водообеспечения населения Кыргызской Республики [Текст] / И. Абдурасулов, Р.Ш. Мамбетова, Д.П. Халимов // Тр. Междун. Науч.-практ.конф. «Актуальные проблемы управления водными ресурсами и водосбережения». – Алматы: КазНТУ, 2014 г. – С.227-229.

16. Абдурасулов, И. За воду не благодарят [Текст]: монография / И. Абдурасулов, В.Е. Матыченков, К.А. Кожобаев. – Фрунзе: Илим, 1990. – 103 с.
17. Абдурасулов, И. Моделирование технологического процесса очистки воды фильтрованием [Текст] / И. Абдурасулов, Д.Д. Тагибаев, Р.Ш. Мамбетова // Наука и новые технологии №4, – Бишкек, 2013. – С.31-33.
18. Абдурасулов, И. Моделирование технологического процесса очистки воды фильтрованием [Текст] / И. Абдурасулов, Д.Д. Тагибаев, Р.Ш. Мамбетова // Наука и новые технологии, №4. – Бишкек, НИДХЛ, 2013. – С.31-33
19. Абдурасулов, И. Обеспечение населения сельской местности Кыргызской Республики питьевой водой [Текст] / А.С. Токтошев, Р.Ш. Мамбетова // «Яковлевские чтения» 18-19 марта 2014г.: сб.докл. IX НТК к 100-летию академика РАН Яковлева С.В. и 80-летию НИИ ВОДГЕО. – М.: МИСИ-МГСУ, 2014. – С.48-51.
20. Абдурасулов, И. «Мероприятия по улучшению состояния водообеспечения состояния Кыргызской Республики» [Текст] / И. Абдурасулов, Д.П. Халимов, Р.Ш. Мамбетова // Актуальные проблемы управления водными ресурсами и водосбережения, посвящ. 80-летию со дня рожд. Н.Кипшакбаева: тр.междун. науч.-прак.конф. – Алматы, КазНТУ, 2014 г. – С.127-129.
21. Абрамов, Н. Н. Водоснабжение [Текст]/ учебное пособие / Н. Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, 1982. – 440 с.
22. Агаджанов, В.И. Установление сроков службы зданий и сооружений при их проектировании [Текст] / В.И. Агаджанов. – М: Журн. «Промышленное и гражданское строительство», Выпуск №12, 2001. – С.23-24.
23. Аюкаев, Р. И. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды [Текст]: справ. пособие / Р. И. Аюкаев, В. З. Мельцер. – Л.: Стройиздат, 1985. – 120 с.
24. Байжиева, Г. Классификация загрязнения ионами тяжелых металлов и общая оценка качества воды р. Чу [Текст] / Г.Байжиева, Р.Ш. Мамбетова// Архитектура, дизайн и строительство в условиях высокогорья: Тр.междун.науч.-прак.конф. – Бишкек, КРСУ, 2012. – С.246-253

25. Беликов, С.Е. Водоподготовка [Текст]: справочник / С.Е.Беликов. – М.: Аква-Терм, 2007. – 112 с.
26. Благодарная, Г.И. Прогрессивные технологии в области очистки природных и сточных вод [Текст] / Г.И. Благодарная // Коммунальное хозяйство городов: науч.–техн. Сб. – Киев:Техника– Вып. 93. – 2010. – С. 3–12.
27. Благодарная, Г.И. Совершенствование технологий очистки природных и сточных вод [Текст] / Г.И. Благодарная // Новые исследования в областях водоснабжения, водоотведения, гидравлики и охраны водных ресурсов: матер.междун.конф., проведенной в Пупсе 31 марта и 1 апреля 2011 года – Санкт–Петербург: ОМ–Пресс, 2011. – С. 33–37.
28. Благодарная, Г.И. Технологическое обоснование технологии очистки воды при реконструкции сетей водоснабжения г. Изюма [Текст] / Г. И. Благодарна, С. С. Душкин // Устойчивое развитие городов.: матер.IV Всеукраинской студ.науч.-техн.конф. – Х.:ХНАГХ. – 2011. – С. 128–129.
29. Благодарная, Г.И. Экологическая безопасность систем водоподготовки [Текст] / Г. И. Благодарная, А. В. Коваленко // Коммунальное хозяйство городов: науч.–техн. Сб. – К.: Техніка. – Вып. 90. – 2009. – С. 337–341.
30. Блувштейн, М.М. Повышение эффективности работы очистных сооружений водопровода [Текст] / М. М Блувштейн. – М.: Стройиздат, 1977. – 176 с.
31. Большаков, М.Н. Водозаэнергетические ресурсы Киргизский ССР [Текст]/ М.Н. Большаков, В.Г. Шпак – Ф.: Изд-во АН Кирг.ССР, 1960. – 264 с.
32. Васина, Л. Г. Влияние модуля основности коагулянта и стабильности воды при выборе оптимального режима коагуляции [Текст]/ Л. Г. Васина, В. Л. Меньшикова, Л.С. Крылова// Матер.междун.науч.-прак.конф.«ТЕХНОВОД – 2004». – Новочеркасск, 2004. – с.89-91
33. Вейцер, Ю.И. Осаждение коагулируемых суспензий [Текст] / Ю. И. Вейцер, З. Я. Колобова // Водоснабжение: науч.труды АКХ № 1, Б., 1960. – 55-57с.

34. Вейцер, Ю.И. Оптимальные условия образования хлопьев при коагулировании сточных вод [Текст] / Ю.И. Вейцер, Г.Н. Луценко, А.И. Цветкова // Водоснабжение и санитарная техника, № 9, 1975. – 156-159 с.

35. Водный кодекс [Текст]: закон Кырг. Респ. От 12.01.2005 года № 8 Гл.7. Питьевое водоснабжение/ Норматив. Акты Кырг. Респ. – 2005.

36. Водоснабжение [Текст] / [А.Я. Найманов, С.П. Никишина, Н.Г. Насонкина, Н.П. Омельченко, В.Н. Маслак, Н.И. Зотов, А.А. Найманова]. – Донецк: Норд–Пресс, 2004. – 649 с.

37. Водоснабжение [Текст]: учеб. Пособие / [М.А. Сомов, Л.А. Квитка и др.]. – М. : Инфра. – 2008. – 287 с.

38. Вольфтруб, Л. И. Использование тонкослойных сотоблоков из полиэтиленовой пленки для повышения эффективности работы отстойников и осветлителей со взвешенным осадком [Текст]/ Л.И. Вольфтруб// Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях: сб.научн.тр. – М., 1997. – с. 79-86.

39. Воронов, Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод [Текст] / Ю.В. Воронов, С.В. Яковлев. – М.: МГСУ. 2006, – 704 с.

40. Водоподготовка: Справочник. [Текст] / Под ред. С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007 – 240 с.

41. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды [Текст] / [А.С. Быстров, В.В. Варанкин, М.А. Виленский и др.]. – М.: Экономика, 1986. – 96 с.

42. Душкин, С. С. Современные методы очистки воды и пути их интенсификации [Текст] / [С. С. Душкин, И. Н. Гусь, О. В. Володченко, В. О. Тихонюк-Сидорчук] // Вісник ОДАБА. – Одесса: Астропринт, 2003. – Вып. 11. – С. 136-140.

43. Душкин, С.С. Ресурсосберегающая технология при очистке природных и сточных вод [Текст] / С.С. Душкин // Экология Харьковщины:

состояние, проблемы, перспективы: тезисы докл. науч.-практ. конф. – Харьков: УКРНИЭП, 2000. – С.18-20.

44. Душкин, С.С., Гриценко А.В., Внукова Н.В., Сорокина Е.Б. Водоснабжение, водоотведение и улучшение качества воды [Текст] / С.С. Душкин, А.В. Гриценко, Н.В. Внукова Н.В. – Харьков: ХНАДУ, 2003. – 152 с.

45. Душкин, С. С. Очистка воды в осветлителях с контактной загрузкой [Текст] / С.С. Душкин // Водоснабжения и санитарная техника. – К.: УМК ВО, 1971, №12. – С. 3.

46. Душкин, С. С. Физические методы водоподготовки [Текст]: учеб. Пособие /С. С. Душкин. – К.: УМК ВО, 1989. – 151 с.

47. Журба, М.Т. Водоснабжение [Текст]/ М.Т. Журба, Л.М. Соколов, Ж.М. Говорова// Проектирование систем и сооружений. . – Харьков: ХНАДУ, Том 2, 2004. – С.245.

48. Журба, М. Г. Водоснабжение [Текст]: учеб.пособие / М. Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж. М. Говорова// Проектирование систем и сооружений – в 3–х т. – 2–е изд. – М.:АВС, 2004. –С.175.

49. Журба, М. Г. Водоснабжение [Текст]: учеб.пособие / М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж. М. Говорова. – 2–е изд., перераб. И доп. – М.: АВС, 2003. – 288 с.

50. Журба, М. Г. Очистка воды на зернистых фильтрах [Текст] / М.Г. Журба. – Львов: Вища школа, 1980. – 200 с.

51. Закон «О питьевой воде» [Текст]: в редакции Законов Кырг. Респ. От 29.09.2000 года № 81, 28.06.2003 года № 118, 20.07.2009 года № 240, 12.11.2011 года № 206. / Норматив. Акты Кырг. Респ.

52. Закон «Об общественном здравоохранении» [Текст]: закон Кырг. Респ. От 24.07.2009 года № 248. Ст.10. Безопасность питьевой воды и водных объектов. / Норматив. Акты Кырг. Респ. – 2009.

53. Закон КР «О воде» [Текст] / закон Кырг. Респ. От 14 января 1994 года №1422-ХП. / Норматив. Акты Кырг. Респ. – 1994.

54. Закон КР «О питьевой воде» [Текст] / закон Кырг. Респ. От 25 марта 1999 года №33. / Норматив. Акты Кырг. Респ. – 1999.

55. Закон КР Технический регламент «О безопасности питьевой воды» [Текст] / закон Кырг. Респ. От 30 мая 2011 года №34. / Норматив. Акты Кырг. Респ. – 2011.

56. Закон КР «О градостроительстве и архитектуре Кыргызской Республики» [Текст] / закон Кырг. Респ. В редакции 24 мая 2013года № 78 (введен в действие постановлением ЖогоркуКенеша Кыргызской Республики от 11 января 1994 года №1373-ХII). / Норматив. Акты Кырг. Респ. – 2005. – 17с.

57. Закон Технический регламент «О безопасности питьевой воды» [Текст]/ закон Кырг. Респ. От 30.05.2011 года №34. / Норматив. Акты Кырг. Респ. – 2011.

58. Запольский, А.К. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды [Текст]/ А.К. Запольский, А.А. Баран. – Л.: Химия, 1987. – 208 с.

59. Заявка №263 от 18.08.14 г., регистрационный №20140009.2 [Текст] /

60. Иванникова, Р.И. Интенсификация процесса осветления городских сточных вод при использовании в качестве коагулянта промышленных отходов [Текст] / Р.И. Иванникова, В.Р. Саржевская // Водоснабжение и санитарная техника. – 1980. - №4. – С.54-60.

61. Исаев, В.Н. Эффективное использование воды [Текст] / В.Н. Исаев, Е.А. Пугачев. – М.: АСВ, 2012. – 231 с.

62. Исмаилова, Э.К. Исследование фильтровальных характеристик песка [Текст]/ Э.К. Исмаилова, А. И. Абдурасулов, Ж.И. Осмонов // Наука и новые технологии. 2009. - № 7. – С. 36-41.

63. Моделирование процессов осаждения взвешенных веществ в сточных водах [Текст] / [Исмаилова Э.К., Абдурасулов А.И., Керимбекова Р.Т., Киргизбаев А.К.]Вестник КГУСТА. – 2010. - № 4 (30). – С. 93 – 96.

64. Исследование процессов коагуляции и обеззараживания при очистке воды поверхностных источников [Текст] / [И. Н. Мясников, В. А. Потанина, З.

И. Жолдакова, Т. З. Артемова] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2003. – №9. – С. 13-15.

65. Карамбиров, Н. А. Развитие сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения за 50 лет [Текст]/ Н.А. Карамбиров // Гидротехника и мелиорация, № 11, 1967. – 320 с.

66. Клячко, В. А. Очистка природных вод [Текст] / В. А. Клячко, И.Э. Апельцин. – М.: Стройиздат, 1971. –156 с.

67. Клячко В.А. Тонкослойный многоярусный отстойник с радиальным течением воды для очистки природных вод [Текст] / В.А. Клячко, Б.С. Либерман // Водоснабжение и санитарная техника. – М.: 1976.- № 11. – С.46-52.

68. Клячко, В.А. Очистка природных вод [Текст] / В. А. Клячко, И. Э. Апельцин. – М.: Из-во лит. постр-ву, 1971. – 580 с.

69. Коагулянты [Текст] / Новые технологии и оборудование в водоподготовке и водоотведении. Сб. – М.:ВИМИ, 2000. – Вып. 1. – С.56.

70. Кожинов, В.Ф. Очистка питьевой и технической воды [Текст] / Примеры и расчеты / В.Ф. Кожинов. – М.: Изд-во лит. по стр-ву, 1971. – 303 с.

71. Кононова, М.М. Органические вещества почвы [Текст] / М.М. Кононова. – М.: Изд. АН СССР. 1963. – 189 с.

72. Коноплянцев, А.А. Прогноз и картирование режима грунтовых вод [Текст]/ А.А. Коноплянцев, С. М. Семенов. – М.: Недра, 1974. – с. 69-80.

73. Контактный осветлитель типа КО-3 [Текст] / [Д.М. Минц, С.А. Шуберт, В. П. Критули др.] // Водоснабжение: науч. Труды. – М.: ОНТИ, 1973. - №98. – С.41-47.

74. Корабельников, В. М. Исследование процесса осаждения взвеси в тонкослойных отстойниках [Текст]/ В.М. Корабельников// Совершенствование расчета подачи и распределения воды и методы ее очистки: науч.тр. АКХ - №130. – М.: ОНТИ АКХ, 1976. – с. 123-130.

75. Корабельников, В.М. Исследование процесса осаждения взвеси в тонкослойных отстойниках [Текст] / В.М. Корабельников: науч. Тр. АКХ им. Д. Памфилова. – Вып. 130, 1976. – с. 46-53.

76. Кульский, Л.А. Основы технологии кондиционирования воды [Текст] / Л.А. Кульский – Киев.: Ан УССР, 1963. – 257 с.
77. Кульский, Л.А. Проектирование и расчет очистных сооружений водопроводов [Текст] / Л.А. Кульский, М.Н. Булава, И.Т. Гороновский. – Киев: Будивельник, 1972. – 68 с.
78. Кульский, Л.А. Проектирование и расчет очистных сооружений водопровода [Текст] / [Л.А. Кульский, М.Н. Булава, И.Т. Гороновский, П. И. Смирнов]. – К.: Будивельник, 1972. – 424 с.
79. Кульский, Л.А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды [Текст] / Л. А. Кульский. – К.: Наукова думка, 1983. – 528 с.
80. Кульский, Л.А. Технология очистки природных вод [Текст] / Л. А. Кульский, П. П. Строкач. – К.: Вища школа, 1986. – 352 с.
81. Купце, Х.И. Методы физических измерений [Текст] /Х.И. Купце. – М.: Мир, 1989. – 216 с.
82. Курганов, А.М., Федоров Н.Ф. Гидравлические расчёты систем водоснабжения и водоотведения [Текст]: справ. пособие к СНИП / А.М. Курганов, Н.Ф. Федоров. – Л.: Стройиздат, 1986г. – 440 с.
83. Лагутин, Е.И. Геогидрология Кыргызстана [Текст] / Е.И. Лагутин. – Бишкек, ИЦ «Текник», 2013. – 256 с.
84. Ласков, Ю.М. Примеры расчетов канализационных сооружений [Текст]: учебное пособие для вузов / Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов, В.И. Камишун. – М.: Высшая школа, 1981. – 213 с.
85. Либерман, Б. С. Исследование и разработка конструкции многоярусного тонкослойного отстойника для очистки природных вод [Текст]: автореф. Дис. ... канд. Техн. Наук: 05.23.04/ Б.С. Либерман. Ростов-на-Дону, 1975. – 21 с.
86. Либерман, Б.С. Математическая модель тонкослойного отстойника [Текст] / Б.С.Либерман – Ростов/Дон: РИСИ, (Сб. науч. Тр. / Южгипроводхоз; №17. 1974. – 128 с.

87. Либерман, Б.С. Некоторые уравнения для расчета тонкослойных отстойников. Исследования в области строительства и архитектуры [Текст] / Б.С.Либерман – Ростов/Дон: РИСИ, 1973. – 58 с.

88. Лурье, Ю.Ю. Справочник по аналитической химии [Текст] / Ю.Ю.Лурье, - М.«Химия», 1971. – 271 с.

89. Лысов, В.А. Разработка и исследование нового способа удаления осадка из горизонтальных водопроводных отстойников, осветляющих мутные воды [Текст] / В.А. Лысов, Е.Ф. Кургаев, В.А. Михайлов // Водоснабжение и санитарная техника, №10, 1974. – С. 57-64.

90. Мамбетов, Ш.А. Проблема комплексного освоения недр республики в условиях. Труды международной научной конференции, посвященной памяти академика М.Я.Леонова (100-летие со дня рождения) «Современные проблемы механики сплошной среды». [Текст] / Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев, Р.Ш. Мамбетова. – Бишкек, КГТУ, 2012. – С.298-304.

91. Мамбетова, Р.Ш. Анализ качества поверхностных вод Кыргызской Республики [Текст] / Р.Ш. Мамбетова. Материалы международной научно-практической конференции на тему «Современные направления развития водоснабжения и водоотведения» 21-22 апреля 2016 г. Алматы:КазНИТУ им.К.И.Сатпаева, 2016, - С.135-137

92. Мамбетова, Р.Ш. Использование установок для обработки вод открытых водоемов [Текст] / Р.Ш. Мамбетова // Известия КГТУ, № (3) 36 – Б.: «Текник», 2015. – С.58-62.

93. Мамбетова, Р.Ш. Методы обеззараживания питьевых вод обеспечивающие санитарно-гигиенические, токсикологические и эпидемиологические требования [Текст] / Р.Ш. Мамбетова. Материалы МНПК «Совершенствование прогнозирования и управления стихийными бедствиями», – Бишкек, КРСУ, 16 мая 2016 г., – С.59-62

94. Мамбетова, Р.Ш. Геомеханические аспекты строительства водозаборных сооружений в горно-складчатых районах [Текст] / Р.Ш. Мамбетова, А.Р. Абдиев. Материалы международной научно-практической

конференции «Техносферная безопасность: наука и практика». – Бишкек: КРСУ, 2015. – С.38-41

95. Мамбетова, Р.Ш. Проектирование системы водоснабжения сельских населенных пунктов [Текст] / Р.Ш. Мамбетова, И. Абдурасулов // Международный научный журнал «Инновационная наука», №1(2). – Уфа: «Аэтерна», 2016. – С.83-87

96. Мамбетов, Р.Ш. История водоснабжения в Средней Азии в V-XV веках [Текст] / Р.Ш. Мамбетова, И. Абдурасулов, Д.Д. Тагибаев. Труды международной научно-практической конференции 27-28 апреля 2012 г. «Архитектура, дизайн и строительство в условиях высокогорья». – Бишкек, КРСУ, 2012 г. – С.351-359.

97. Требования к качеству используемых вод для питьевого и промышленного водоснабжения [Текст] / [Р.Ш. Мамбетова, И. Абдурасулов, Д.Д. Тагибаев, Ж.И. Осмонов] Труды международной научно-практической конференции 22-25 ноября 2011г. «Архитектура, дизайн и строительство в условиях горных регионов Центральной Азии». – Бишкек: КРСУ, 2011. – С.91-98.

98. Мамытов, А.М. Почвы Киргизской ССР [Текст] / Издательство «Илим», – Фрунзе, 1974, – 418 с.

99. Минц, Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды [Текст] / – М.: Стройиздат, 1964. –155 с.

100. Мякишев, В.А. Модернизация коммунальных систем водоснабжения и водоотведения [Текст] / В. А. Мякишев. – Симферополь :НАПКС, 2005. – 200 с.

101. Мясников, И. Н. Результаты внедрения комбинированного отстойника–коагулятора на водопроводной станции [Текст] / И. Н. Мясников, В. А. Потанина, Ю. Б. Буков // Водоснабжение и санитарная техника, 2001, №3. – С. 21–31.

102. Кадыров, В.К. Гидрохимия озера Иссык-Куль и его бассейна [Текст] / В.К.Кадыров. – Фрунзе: Илим, 1986. – 116 с.

103. Курганов, А.М. Гидравлические расчёты систем водоснабжения и водоотведения [Текст] / Федоров Н.Ф. Справочник // Под общей редакцией А.М.Курганова. 3-е изд., перераб. И доп.-Л.: Стройиздат, Ленинград, отд-ние, 1986г. – 440с.
104. Самарский, А.А. Михайлова А.П. Математическое моделирование; Идеи. Методы. Примеры [Текст] / Самарский, А.А. Михайлова А.П – М.: Наука, Физмат, 1997.-320.
105. Расчет водопроводных сетей [Текст] / Учебное пособие для вузов / [Н.Н. Абрамов, М.М. Пospelова, М.А. Сомов и др.] – Изд. 4-е. М.: Стройиздат, 1983 – 278 с.
106. Национальная стратегия устойчивого развития Кыргызской Республики на период 2013-2017 годы [Текст] / Указ Президента Кыргызской Республики от 21 января 2013 года № 11. – С.127.
107. Николадзе, Г. И., Абдурасулов И. Применение тонгослойного отстойника для обезжелезивания подземных вод с повышенной окисляемостью [Текст] / Г.И. Николадзе, И. Абдурасулов. // Проектирование и исследование систем водоснабжения и канализации. Межвузовский сборник. Ростов-на-Дону, Ротопринт , 1976. – С.78-84.
108. Николадзе, Г.И. Технология очистки сточных вод [Текст] / Г.И. Николадзе. – М.: Высшая школа,1987. – 479 с.
109. Николадзе, Г. И. Водоснабжение [Текст] / Г.И. Николадзе. Учеб. Для техникумов. – М.: Стройиздат, 1989. – 496 с.
110. Новые решения в подготовке питьевых вод [Текст] / [М. Г. Журба, Т. Н. Любина, С. А. Мезенцева, Ж. М. Журба и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. 1994, №1. – С.34-39.
111. Оводова, Н. В. Исследования влияния модификации фильтрующих загрузок на интенсификацию осветления мутных вод фильтрованием [Текст] / автореф. Дис. На соискание науч. Степени канд. Техн. Нак: спец. 05.23.04 – «Водоснабжение, канализация» / Н. В. Оводова. – Новочеркасск, 1974. – 32 с.

112. Орлов, В. О. Интенсификация работы водоочистных сооружений [Текст] / В. О. Орлов, Б. И. Шевчук. – Киев: Будивельник, 1989. – 125 с.
113. Основы научных исследований [Текст] / под ред. Крутова В.И., Попова В.В. – М.: Высшая школа. 1989. – 400 с.
114. Оценка эффективности применения различных типов коагулянтов для очистки воды [Текст] / [С. В. Гетманцев, А. А. Рученин, С. В. Снигирев, Ф. И. Чуриков] // Водоснабжение и санитарная техника. 2003, №9. – С.78-81.
115. Очистка природных вод [Текст] / [П. А. Грабовский, Г. М. Ларкина, В. И. Прогульный.] Учебное пособие / – Одесса: ОГАСА. 2003. – 267 с.
116. Перлина, А. М. Установки малой производительности для очистки и обезжелезивания питьевых и сточных вод [Текст] / А.М. Перлина, Э.С. Разумовский, Г.Л. Медриш. – М., Стройиздат, 1974. – С.123.
117. Петренко, Н.Ф. Диоксид хлора: применение в технологиях водоподготовки [Текст] / Н. Ф. Петренко, А. В. Мокиенко. – Одесса: Optimum, 2005. – 486 с.
118. Пирогова, С.В. Контроль качества коагулянтов на содержание металлов [Текст] / С. В. Пирогова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2003. №2. – 56-61 с.
119. Проектирование зданий и сооружений в сейсмических районах/ [Текст] / [С.К. Уранова, С.Т. Иманбеков, Г.В. Косивцов и др]. – Бишкек: Аят, 1996. – 212 с.
120. Проектирование и расчет очистных сооружений водопровода [Текст] / [Л. А. Кульский, М. Н. Булава, И. Т. Гороновский, П. И Смирнов.] – Киев: Будивельник, 1972. – 424 с.
121. Радциг, В.А. Отстойники новой системы [Текст] / В.А. Радциг // Бюллетень хим. Инст-та им. Менделеева. 1970, № 9. – 123-127 с.
122. Разумовский, С.Э. Очистка и обеззараживание сточных вод малых населенных пунктов [Текст] / С.Э. Разумовский, Т.Л. Медриш, В.А.Казарян – М.: Стройиздат, 1986. – 176 с.

123. Руденко, Г.Г. Удаление примесей из природных вод на водопроводных станциях [Текст] / Г.Г. Руденко, И.Т. Гороновский – Киев: Будивельник, 1976. – 320 с.
124. Рябчиков, Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования [Текст] / Б.Е. Рябчиков. – М.: Дели.принт, 2004.– 301с.
125. Самарский, А.А. Математическое моделирование [Текст] / А.А. Самарский, А.П. Михайлова // Идеи. Методы. Примеры. – М.: Наука, Физмат, 1997. –320 с.
126. Сельман, А. Гумус, происхождение, химический состав, его значение в природе [Текст] / А. Сельман, В.А.Ваксман. – М., Сельхозгиз, 1967. – 124 с.
127. Скирдов, И. В. Кинетика отстаивания взвешенных веществ сточных вод [Текст]/ И.В.Скирдов // Водоснабжение и сан. Техника. – 1993. № 6. – С.54-59.
128. СНИП КР 20-02:2009 «Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования» [Текст]/ -Б.: Госстрой Кыргызской Республики ,02 ноября 2009 года, приказ №140.-103с.
129. СНИП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения [Текст]. – М.:Стройиздат, 1985. – 136 с.
130. СНИП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения [Текст]. Утв. Гос.ком. СССР по делам стр-ва: Введ. 1.07.86 – Изд. Офиц.- М: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. –74 с.
131. Соколов, И. В. Таблицы и номограммы для расчета химических анализов природных вод [Текст] / И.В. Соколов. – М., «Недра», 1974. – 74 с.
132. Сомов, М.А. «Водоснабжение». Сб.1 [Текст] / М.А. Сомов, Л.А. Квитка. – М.: Инфрам, 2007. – 287 с.
133. Справочник проектировщика. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий. [Текст] / Под. Ред. И. А. Назарова. – М., Стройиздат, 1977. – 234 с.

134. Столбов, Д.И. Очистка питьевой воды в компактных установках заводского изготовления «Струя» [Текст] / Д.И. Столбов // Гигиена и санитария. 1975, №3. – 98-102с.

135. Degremont Технический справочник по обработке воды [Текст] / В 2 томах. Том 1. Пер. с фр. СПб.: Новый журнал, 2007.

136. Теоретические основы очистки воды: учебное пособие [Текст] / [Н. И. Куликов, А. Я. Найманов, Н. П. Омельченко, В. Н. Чернышев.] – Донецк: изд-во «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2009. – 298 с.

137. Кульский, Л.А.Технология очистки природных вод [Текст] / Л.А. Кульский, П.П. Строкач. – Киев.: Вища школа, 1986. – 352 с.

138. Тихомиров, В. Б. Планирование и анализ эксперимента [Текст] / В.Б. Тихомиров. – М., «Легкая инструкция», 1984. – 201 с.

139. Тихонюк, В.О. Анализ методов интенсификации очистки воды в системах водоподготовки [Текст] / В. О. Тихонюк // Коммунальное хозяйство городов: науч. – техн. Сб. Вып. 21. – Киев.: Техника, 2000. — С. 90-92.

140. Трескунов, В. М. Усовершенствованный контактный осветлитель КО-3р [Текст] / В. М. Трескунов // Методы и средства улучшения качества питьевой воды и обработка осадков водопроводных станций: научн.Труды. – М.: ОНТИ, 1977. – С. 51-56.

141. Указ президента Кыргызской Республики [Текст] / от 27 сентября 2013 года УП№194 о внесении дополнений в «Национальную Стратегию устойчивого развития Кыргызской Республики на период 2013-2017 годы».

142. Фетисов, В.Д., Завгородняя И.В. Проектирование и расчет системы водоснабжения сельского населенного пункта [Текст] / В.Д. Фетисов, И.В. Завгородняя. Учебное пособие. – Краснодар, 2004. – 145 с.

143. Филипов, Е. К. Использование двухслойной загрузки в контактных фильтрах [Текст] / Е. К. Филипов, О. И. Овечкина, З. К. Липина // Водоснабжение и санитарная техника. – 2003. – №6.– С. 38–39.

144. Фрог, Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка [Текст] / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко. Учебное пособие для вузов, – М.: Издательство МГУ, 1996. – 680 с.

145. Фрог, Б. Н. Водоподготовка [Текст] / Б. Н. Фрог. – М.: МГУ, 2001. – 680 с.
146. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента [Текст] / Х. Шенк. – М.: Мир, 1972. – 20 с.
147. Шехтман, Ю. М. Фильтрация малоцентрированных суспензий [Текст] / Ю.М. Шехтман. – М., Изд. АН СССР, 1961. – 56 с.
148. Шпаковский, Э. П. Исследование процессов седиментации грубодисперсных примесей в тонкослойных отстойниках [Текст]: дис. ... к-та тех.наук: 05.23.04/ Минск, 1974. – 143 с.
149. Шуберт, С.А. О компактных установках заводского изготовления для очистки и обеззараживания питьевых и сточных вод [Текст] / С.А. Шуберт // Научн.тр. центр.н.-и. и проект.-экспер. Ин-та инж. Обор. Городов и обществ. Зданий, 1982, №2. – 88 с.
150. Фрог, Б.Н. Водоподготовка [Текст] / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко. Учебное пособие для вузов. – М.: Издательство МГУ, 1996 – 680 с
151. Эпоян, С.М. Анализ существующих методов повышения эффективности работы для подготовки воды [Текст] / С. М. Эпоян, С. С. Душкин, В. А. Сташук // Вестник ХНУБА. – Харьков: ХОТВ АБУ, 2012. – С. 261–265.
152. Эпоян, С.М. Влияние активированных растворов сульфата алюминия и оксихлорида на эффективность осветления воды [Текст] / С. М. Эпоян, С. С. Душкин // Науковий вісник будівництва. – Харьков:ХНУБА, 2012.– С. 348–352.