

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
ТАДЖИКИСТАН

ТАДЖИКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА  
М.С. ОСИМИ

УДК 628.1 (575.3)

*На правах рукописи*

**БАДАВЛАТОВА Бунафша Худоёровна**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА  
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОСВЕТЛЕНИЯ  
ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД**

**(на примере очистной станции самотечного водопровода  
города Душанбе)**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени

кандидата технических наук по специальности

**05.23.04** - Водоснабжение, канализация,

строительные системы охраны водных ресурсов

Научный руководитель:  
доктор технических наук, доцент  
Амирзода Ориф Хамид  
(Амиров Орифджон Хамидович)

Душанбе – 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ</b> .....	10
<b>Глава 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДУЕМОГО ВОПРОСА</b> .....	14
1.1. Состояния существующих схем подготовки питьевой воды из поверхностных источников города Душанбе .....	14
1.2. Обзор способов интенсификации процесса коагуляции воды .....	22
1.3. Современные технологии водоподготовки .....	26
1.4. Нормативы качества питьевой воды .....	29
Выводы по главе 1 .....	34
<b>Глава 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РЕАГЕНТНОГО ОСВЕТЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД</b> .....	35
2.1. Общие характеристики исследуемого коагулянта и флокулянтов .....	35
2.2. Методика и оборудования для проведения экспериментальных исследований .....	37
2.3. Кинетика процесса осветления воды .....	42
2.4. Динамика осветления поверхностных вод в лабораторных условиях .....	44
Выводы по главе 2 .....	50
<b>Глава 3. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b> .....	52
3.1. Анализ результатов исследований процесса водоподготовки .....	52

3.2. Сопоставительный анализ результатов экспериментальных исследований .....	63
Выводы по главе 3.....	69
<b>Глава 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД .....</b>	<b>70</b>
4.1. Численные решения задач процесса предварительного освещения поверхностных вод .....	70
4.2. Численное моделирование эффекта процесса предварительного освещения поверхностных вод методом интерполяции .....	88
4.3. Расчет процесса освещения воды на скорых песчаных фильтрах очистной станций самотечного водопровода .....	92
Выводы по главе 4.....	102
<b>Глава 5. ТЕХНОЛОГИЯ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ САМОТЕЧНОГО ВОДОПРОВОДА ГОРОДА ДУШАНБЕ .....</b>	<b>103</b>
5.1. Модернизация схемы водоподготовки с учетом надежности работы очистных сооружений .....	103
5.2. Интенсификация процесса водоподготовки на очистной станции самотечного водопровода г. Душанбе .....	116
5.3. Расчет экономической эффективности результатов исследований .....	119
5.4. Рекомендации для улучшения работы очистной станции самотечного водопровода .....	124
Выводы по главе 5 .....	125
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>126</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>129</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>140</b>

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БСР	Бассейн суточного регулирования
ВМС	Высокомолекулярные соединения
ВОС	Водоочистные сооружения
ГУП «ДВК»	Государственное унитарное предприятие «Душанбе водоканал»
ЕБРР	Европейский банк реконструкции и развития
КНС	Каферниганская насосная станция
МНК	Метод наименьших квадратов
МЭ	Микроэлемент
ОСНВ	Очистная станция напорного водозабора
ОССВ	Очистная станция самотечного водопровода
ОХА	Окси хлорид алюминия
ПАА	Поли акриламид
ПАВ	Поверхностно-активные вещества
ПДК	Предельно допустимая концентрация
РТ	Республика Таджикистан
СА	Сульфат алюминия
ТЭ	Технико-экономическое обоснование
ФЭК	Фотоэлектроколориметр
ЮЗВ	Юго-западный водозабор
pH	водородный показатель
Д <sub>к</sub>	доза коагулянта
Д <sub>п</sub>	доза полимера
Д <sub>ф</sub>	доза флокулянта

## ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим компонентом жизнеобеспечения населения является питьевая вода, поскольку от её подачи и качества зависят состояние здоровья людей, уровень их санитарно-эпидемиологического благополучия, устойчивость службы общественно-бытовой сферы, уровень квартирного фонда и городской среды.

Одной из приоритетных задач любого государства является обеспечение населения качественной питьевой водой.

Централизованная система водоснабжения города Душанбе обслуживается поверхностными и подземными источниками воды. Можно отметить, что в последние годы практически все поверхностные источники водоснабжения подвергаются существенному воздействию вредных антропогенных воздействий.

Заметно прогрессируют загрязнения и подземных вод, которые проникают со сточными и сельскохозяйственными водами в водоносные горизонты.

Поверхностная вода в основном проходит традиционную двухступенчатую очистку с отстаиванием и осветлением в слое взвешенного осадка и скорым фильтрованием; часть воды обрабатывается по одноступенчатой схеме на контактных осветлителях.

Для удаления из воды коллоидных органических загрязнений, присутствующих в растворённом виде, и грубодисперсных примесей, находящихся во взвешенном состоянии, главным технологическим приёмом является процесс коагуляции.

Чтобы решить задачи, которые ставятся перед водопроводными станциями, прежде всего, необходимо исследовать и оценить работу водоочистных сооружений с их некоторыми элементами, которые включают в себя следующие стадии:

- используя данные лабораторий, организации водопроводно-канализационного хозяйства, местных органов Госсанэпиднадзора Минздрава Республики Таджикистан, суверенных лабораторий и др., необходимо оценить и анализировать качества исходной и очищенной воды;

- относительно всех приведенных к норме показателей, а также специфических загрязнений, которые встречаются в исходной воде, нужно проводить анализ эффективности очистки воды. Если же будет недостаточно данных и не будет технологических решений по удалению специфических загрязнений, то их необходимо установить во время эксплуатации сооружений. А также следует предложить технологию их устранения при существующей схеме очистки воды;

- по каждому процессам и сооружениям необходимо создать технологические карты, с усовершенствованием технологической системы очистки воды. В них указываются дозы реагентов (хлора, коагулянта, флокулянта и др.), применяемые на станциях; время, необходимое для отстаивания, фактические скорости фильтрации, регулярность и интенсивность промывок фильтрующей загрузки, систематичность устранения осадка из отстойника и др.;

- действия, предлагаемые в рамках представленной работы, дают возможность не только усилить глубину водоочистки по ключевым аспектам, т.е. улучшить самых процессов коагуляции, хлопьеобразования, осаждения и фильтрования, но и в любых условиях производить надежную и эффективную очистку воды на станциях водоподготовки.

С начала XX века стали применять смесь коагулянтов вследствие внедрения в практику водоснабжения скорых (американских) фильтров. До этого времени применяли медленные (английские) фильтры. В 1937 году Д. Бэйлисом было рекомендовано в качестве флокулянта использование активной кремнекислоты. И начиная уже с 50-х годов в процессе водоочистки стали применять органические флокулянты.

Объёмы подготовки воды для хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения стали расти с ростом населения и развитием промышленности, что и привело соответственно к увеличению масштабов использования реагентов.

Происходящие в мире за последнее время события, такие как наступление дефицита пресной воды на планете, изменение климата, истощение водных ресурсов и т. д., все больше привлекают внимание ученых и специалистов, и исследователей на разработку новых технологий и сооружений, применение новых высокоэффективных реагентов, и, конечно же, путей и методов повышения надёжности работы водоочистных сооружений, которые будут способствовать решению проблем водоснабжения.

В свете изложенного Конституция Республики Таджикистан, Водный кодекс Республики Таджикистан и Концепция развития водного сектора экономики и водохозяйственной политики Республики Таджикистан до 2020 года требуют обеспечение населения доброкачественной водой с соблюдением всех требований и рекомендаций СНИП «Водоснабжение наружных сетей и сооружений».

Во всем мире непрерывно растет поток научной информации, посвященной изучению закономерностей и основ повышения надёжности инженерных сооружений. Изучение их на конкретном объекте, в данном случае на Очистой станции самотечного водопровода города Душанбе, который является крупнейшим городом Республики Таджикистан, с водопроводным хозяйством, имеющим сложные проблемы в обеспечении населения водой питьевого качества, уже само по себе является очень актуальной задачей.

**Актуальность темы исследования.** Формирование цивилизации непосредственно связано с применением воды. Её использование становится весьма широким. Поэтому одна из насущных задач водоснабжения – это предоставление жителям питьевой воды, которая соответствует основным санитарно-гигиеническим требованиям. В основном централизованную си-

стему водоснабжения города Душанбе обслуживают поверхностные источники воды. Их объем от общего водозабора составляет 68%, а оставшиеся 32% - подземные. Поверхностным источником водоснабжения г. Душанбе является река Варзоб. Она находится под влиянием антропогенных воздействий. Качество воды р. Варзоб зависит от качества воды её притоков. Природные осадки со смывом почвы, сбрасываемые отходы в водоисточники, выгон и поение домашнего скота у побережья, нарушение зоны санитарной охраны водных бассейнов застройками являются главными загрязнителями водных ресурсов района.

В летнее время в р. Варзоб при снижении уровня воды резко уменьшается содержание кислорода и растет бактериальное загрязнение. В настоящее время в районе учёт общего сброса сточных вод в поверхностные водоёмы не ведется, но трудно поддается контролю. Качество воды в водных объектах по многим показателям не отвечает требованиям действующих норм.

Актуальным вопросом остается качество поставляемой воды жителям, преимущественно в период осенне-весеннего паводка, когда происходят изменения рН и щелочность воды, а также увеличение органических веществ в очищаемой воде. Как показывает практика эксплуатации станций водоподготовки г. Душанбе, поступающие к ним такие воды, заметно увеличивают нагрузку на главные сооружения водоочистки. Это приводит к усложнению всей работы подготовки воды и чаще всего к перерасходу реагентов, которые используются. Таким образом, увеличивается себестоимость питьевой водоподготовки.

Решить подобную проблему возможно лишь усовершенствованием централизованных технологий очистки воды, модернизировав самого технологического процесса на станциях. В данное время это потребует огромные капитальные вложения, так как необходимо будет или частично, или полностью реконструировать существующие водоочистные сооружения. Существует простой и надежный способ модернизации технологического процесса



очистки воды – это использование новейших реагентов, которые увеличат её надежность и эффективность.

Уместно использование высокомолекулярных реагентов, то есть флокулянтов, имеющих конкретные характеристики и селективные свойства. Они – порождение высоких технологий, и огромное число определенных факторов влияет на их дозировку. Нынешние реагенты сводят к минимуму или вообще не вмешивают в воду растворенных металлов, таких как алюминия или железа. При этом рН воды не меняется и в огромной степени уменьшается объем образуемого осадка. К тому же использование флокулянтов и коагулянтов на основе полимеров способствует помимо удаления растворимых и взвешенных веществ из воды, проведению её обеззараживания.

Если учесть тот факт, что очистка реагентами на водоподготовительных станциях г. Душанбе происходит по технологиям, которые уже устарели, и к тому же применяются слабоэффективные коагулянты и флокулянты, то предмет использования новых передовых реагентов, которые позволяют работе стать более эффективной и надежной помимо насущного, является уместным, и еще экономически выгодным.

**Степень научной разработанности темы.** Изучению известных решений по интенсификации процесса коагуляции воды посвящены многочисленные работы ученых: Бабенкова Е.Д., Высоцкого С.П., Драгинского В.Л., Гетманцева С.В., Алексеевой Л.П., Кульского Л.А., Строкача П.П., Говоровой Ж.М., Клячко В.А., Апельцина И.Э., Гришина Б.М., Lester G.D., Grunwald E., Thomas A.W., Steinert W., Meissner D., а также ученых Таджикистана: Шоимов Ш.Ш., Сабитов А., Давлатмиров Дж.Д., Норматов А.Ю., Хакимов А., Марамов М.Б. и др., которые внесли фундаментальный вклад в совершенствование технологического процесса очистки питьевой воды.

**Связь темы с научными программами и проектами:** диссертационная работа выполнялась в рамках республиканских и международных программ, в разработке которых диссертант принимала непосредственное уча-

стие: второй проект водоснабжения города Душанбе (2020г.); исследования проводились в рамках объявленного Международного десятилетия действий «Вода для устойчивого развития», 2018-2028 гг.; Государственной экологической программы Республики Таджикистан на период 2009-2019гг.; Государственной программы Республики Таджикистан по изучению и сохранению ледников на период 2010-2030 гг.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Целью диссертационной работы** является усовершенствование существующих технологических процессов водоподготовки с применением современных реагентов (на примере очистной станции самотечного водопровода города Душанбе).

С этой целью поставлены следующие **задачи**:

1. Провести анализ состояния существующей схемы подготовки питьевой воды из поверхностных источников города Душанбе.
2. Исследовать целесообразность и возможности повышения эффективности водоподготовки совместным применением коагулянта и современных флокулянтов.
3. Разработать математическую модель процесса реагентного осветления.
4. Провести технико-экономическое обоснование применения современных флокулянтов.
5. Разработать рекомендации для интенсификации реагентной обработки воды на водоочистных станциях поверхностных источников города Душанбе.

**Объект исследования:** очистная станция самотечного водопровода города Душанбе.

**Предмет исследования:** динамика процесса реагентного осветления питьевой воды; технологические параметры процесса реагентного осветления.

**Научная новизна исследования** заключается в:

1. Установлении экспериментальным исследованием механизма, интенсифицирующего процесса седиментации загрязнений и осветления питьевой воды совместным применением реагента сернокислого алюминия и флокулянтов POLY SEPAR AN 34 TW и Нитрофлока 215.

2. Разработке математической модели, определяющей зависимость показателей качества очищенной воды от дозы коагулянта и флокулянтов в процессе седиментации.

3. Выявлении эффективности применения коагулянта и флокулянтов на органической основе для осветления воды из поверхностного источника.

4. Разработке рекомендаций для модернизации схем водоподготовки и улучшения реагентной системы ОССВ г. Душанбе.

**Теоретическая и научно - практическая ценность исследования** заключается в её направленности на совершенствование процесса предварительного осветления питьевой воды, применительно к объектам водоснабжения, что является одной из важнейших задач строительных систем водоснабжения и охраны водных ресурсов. Практическая значимость работы заключается в разработанном нами технологическом решении для очистки воды от высокой мутности и других загрязнений с использованием смеси коагулянта и флокулянтов, экономическом обосновании применения современных флокулянтов.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Реагентная технология, применяемая для подготовки питьевой воды на водоочистных станциях из поверхностного источника города Душанбе.

2. Целесообразность и возможность совместного применения коагулянта и современного флокулянта с целью повышения эффективности водоподготовки.

3. Математическая модель процесса реагентного осветления.

4. Экономическое обоснование и эффективность применения современных флокулянтов.

5. Рекомендации для интенсификации реагентной обработки воды.

**Степень достоверности результатов проведённых исследований.**

Достоверность полученных результатов подтверждается хорошим совпадением экспериментальных результатов по разработанной методике и численных результатов расчёта.

**Содержание диссертации соответствует** следующей области паспорта специальности 05.23.04 – «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов»:

п.1 - Создание научных основ и математическое моделирование систем водоснабжения и водоотведения населенных пунктов, промышленных предприятий, объектов энергетики и сельского хозяйства с разработкой и реализацией методов оптимизации систем по экономическим, технологическим и экологическим критериям оптимальности.

п.12 - Технико-экономическая эффективность и надежность систем водного хозяйства городов, промышленных комплексов и производственных предприятий, оптимизация проектных решений строительства новых, технического перевооружения и реконструкции существующих систем, оптимизации режима работы систем и их отдельных элементов в соответствии с фактическим режимом водопотребления и поступления отработанной воды.

**Личный вклад автора** состоит в общей постановке цели и задач исследования, проведении экспериментальных исследований процесса осветления воды, участии в обработке, анализе, обобщении полученных результатов, подготовке материалов к публикации, а также формулировании основных выводов совместно с научным руководителем.

**Апробация и реализация результатов исследования.** Основные положения работы и полученные результаты исследований докладывались и обсуждались на XIX международной научно-практической конференции:

Современная наука: Актуальные вопросы, достижения и инновации в г. Пенза, РФ: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2021. - Ч.1, С.75-84, а также в материалах Республиканской научно-практической конференции «Водохозяйственный комплекс: проблемы и пути их решения», г. Душанбе, 6 мая 2022г., Журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология», Т.2, №1. С.9-15.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 9 научных трудов, в том числе 5 статьи, опубликованные в Республике Таджикистан и Российской Федерации, рекомендованные ВАК при Президенте Республики Таджикистан, 2 работы входят в научные издания, индексируемые системой РИНЦ и 2 работы в других научных изданиях.

**Структура и объём диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы, приложений, 152 страниц компьютерного набора, включая 48 рисунков, 32 таблиц и формулы.

## **Глава 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДУЕМОГО ВОПРОСА**

### **1.1. Состояния существующих схем подготовки питьевой воды из поверхностных источников города Душанбе**

Ситуация с инфраструктурой города Душанбе отличается от ситуации большинства других развивающихся стран. В отличие от других развивающихся стран и городов, Душанбе показывает высокий уровень охвата населения основными услугами водоснабжения, что в основном было создано в советские времена.

С 1991 года после распада Советского Союза, Таджикистан переживал сильный упадок в доступности и в качестве коммунальных услуг, такие как водоснабжение, канализация, вывоз и утилизация твердых отходов. Теперь необходимо восстановить и перестроить существенные объемы инфраструктуры, чтобы обеспечить поставку качественной питьевой воды и улучшить услуги канализации.

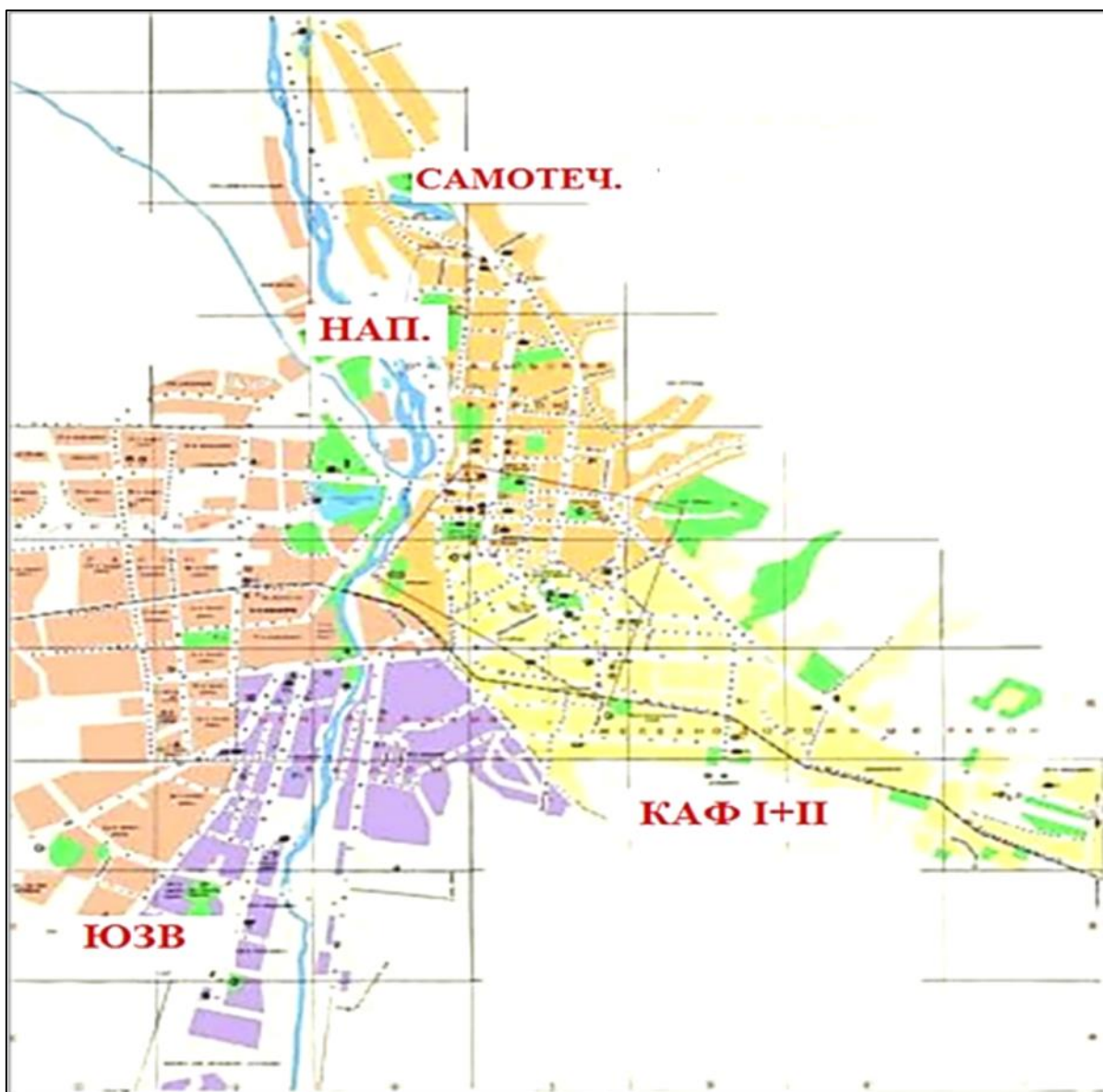
Однако, государственные органы, которые ответственны за поставку этих услуг, не способны справиться с данной задачей из-за нехватки ресурсов и институционального потенциала. С другой стороны, существующая инфраструктура не отвечает требованиям современного технического уровня. Это, прежде всего, касается водозаборных станций, резервуаров и станций по переработке сточных вод.

Централизованное водоснабжение города Душанбе начали строить в 1932 году, и изначальная мощность станции составила 16 тысяч м<sup>3</sup>/сут. Источником водоснабжения поверхностных вод является река Варзоб [111].

Водоснабжение г. Душанбе реализуется четырьмя водозаборами, с совокупной мощностью 557 тысяч м<sup>3</sup>/сутки, 212 тысяч м<sup>3</sup>/сутки из этого - мощность поверхностных источников. Два из четырёх водозаборов расположены на севере, когда иные 2 водозабора - на юге города. Четыре источника водоснабжения города Душанбе представляют собой:

- Очистную станцию самотечного водозабора - ОССВ
- Очистную станцию напорного водозабора - ОСНВ
- Каферниганскую насосную станцию - КНС
- Юго-Западный водозабор - ЮЗВ

На рисунке 1.1 представлено местоположение водных источников и водозаборов города Душанбе.



**Рисунок 1.1. - Схема расположения очистных станций водоснабжения г.Душанбе**

Очистная станция самотечного водозабора находится на севере Душанбе, питание станции осуществляется от деривационного канала Варзоб. Сле-

дующие снимки иллюстрируют водозабор ОССВ и Варзобский канал (фото с лева) и одного из отстойников ОССВ (фото с права).



**Рисунок 1.2. - Поверхностный водозабор**



**Рисунок 1.3. - Бассейн суточного Регулирования очистной станции самотечного водопровода**

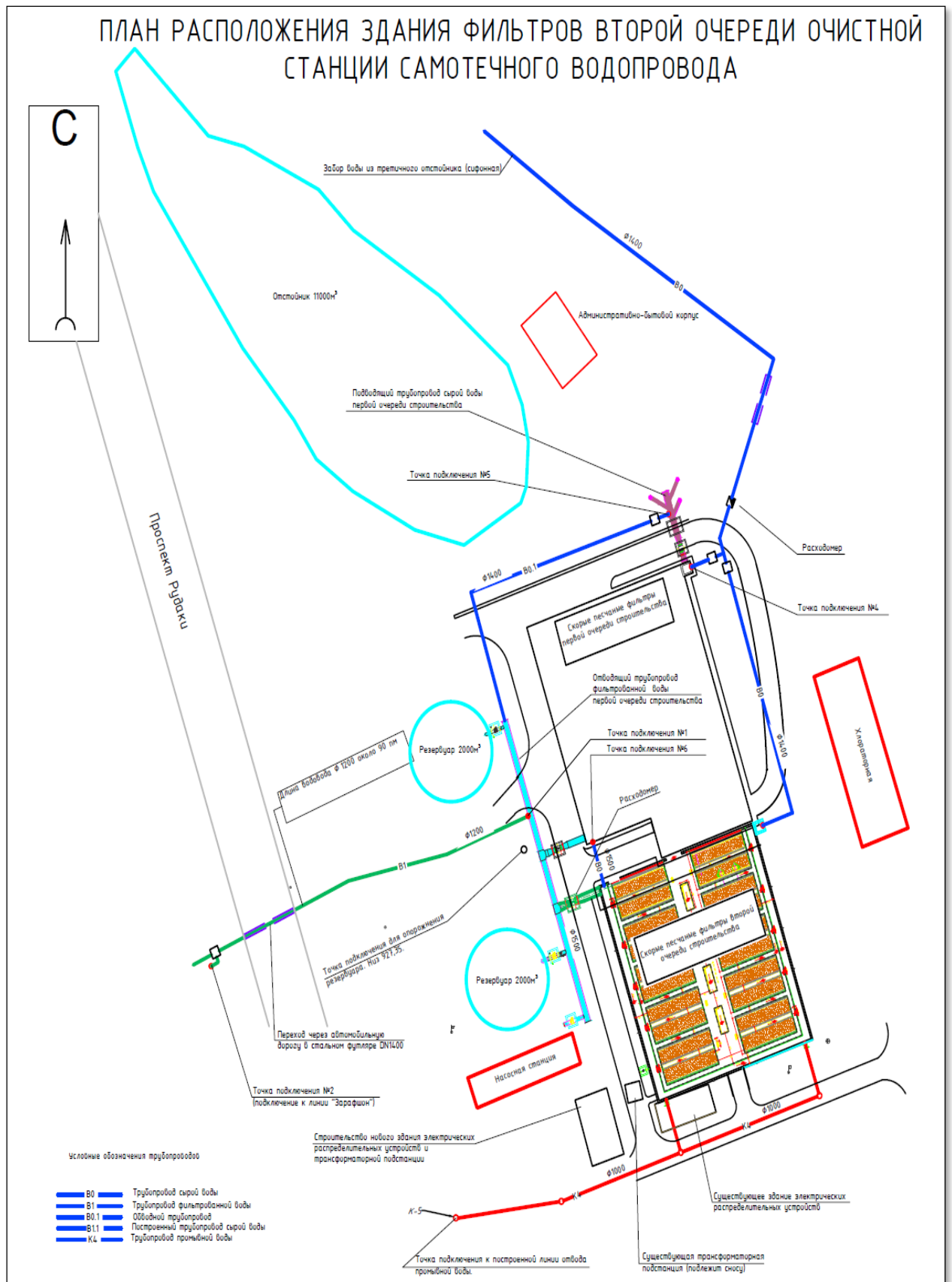
Источником природных вод на ОССВ является река Варзоб. Фактическая схема очистки состоит из следующих шагов:

- предварительное отстаивание;
- коагуляция-флокуляция с использованием сульфата алюминия;
- осаждение;
- дезинфекция гипохлоритом натрия.

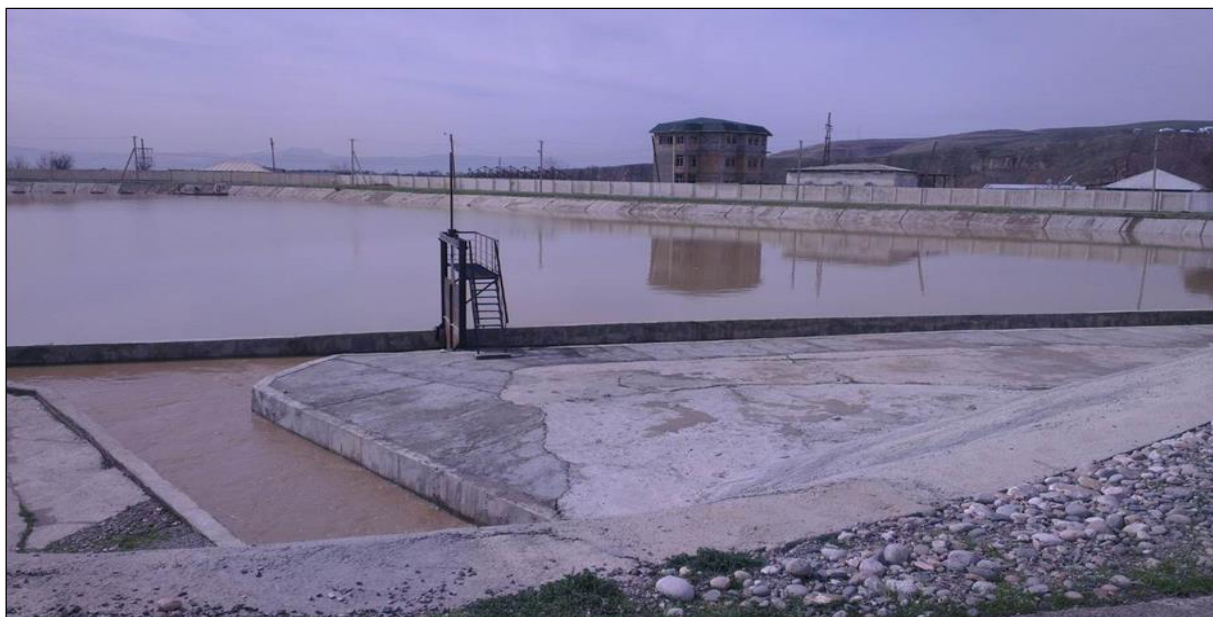
Процесс очистки начинается с горизонтальных отстойников - бассейна суточного регулирования (БСР) состоящего из трех ступеней. Предварительное отстаивание осуществляется в открытом бассейне с общим объемом  $V=133088 \text{ м}^3$ . На рисунках 1.2 и 1.3 представлен вид на входной канал необработанной воды и бассейн суточного регулирования.

План расположения здания фильтров второй очереди Очистной станции самотечного водопровода представлен на рисунке 1.4





**Рисунок 1.4. – План расположения здания фильтров второй очереди Очистной станции самотечного водопровода**



**Рисунок 1.5. - Вид на бассейн суточного регулирования**

Самотечный водозабор является главным источником воды для города Душанбе. Коагулянт, используемый для обработки неочищенной воды – это сульфат алюминия. Раствор хранится в бассейнах, откуда вводится в камеры для быстрого смешивания раствора.



**Рисунок 1.6. - Помещение коагулянтного хозяйства**



**Рисунок 1.7. - Ввод раствора сульфата алюминия в неочищенную воду**

Количество добавляемого коагулянта составляет около 30-150 мг/л, зимой добавляется 20 мг/л в сырую воду.

Заключительная дезинфекция производится с использованием гипохлорита натрия.



*а) цех гипохлорита натрия;*

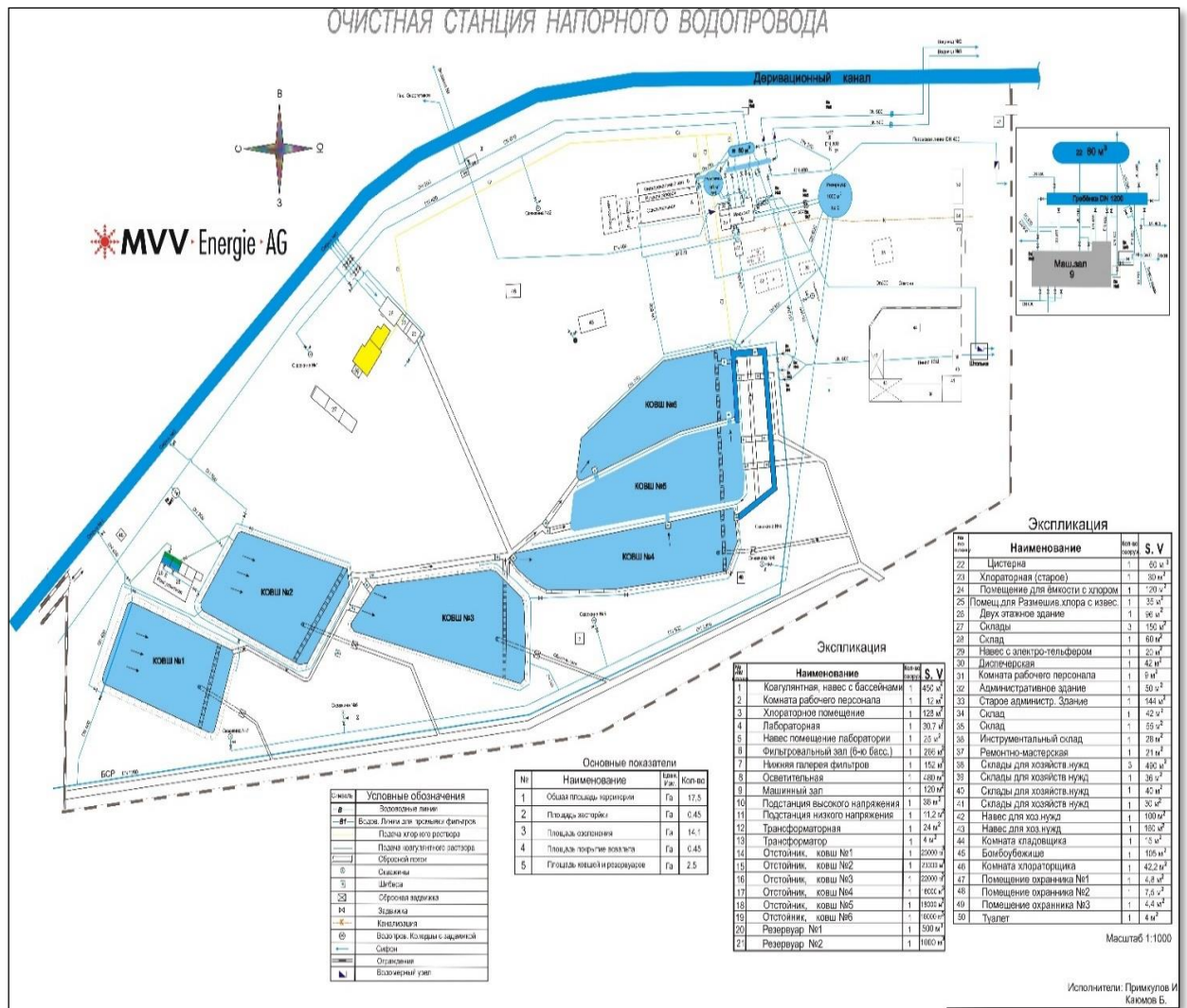


*б) ввод раствора гипохлорита натрия*

### **Рисунок 1.8. - Заключительная дезинфекция**

Напорная водозаборная станция находится на севере Душанбе, и использует поверхностную воду из канала Варзоб и подземные воды из 8 скважин как источник необработанной воды. Производительность напорной станции в начале своей эксплуатации составляла около 30.000 м<sup>3</sup> в сутки. Однако, в октябре 2009 года ДВК провел измерение, которое показало, что фактическая производственная мощность на напорной станции было около 46.000 м<sup>3</sup>/сутки. На рисунке 1.9 показаны основные компоненты системы ОСНВ.

Процесс очистки воды на очистной станции происходит в шести отстойниках, находящихся на территории напорной станции, с коагулянтным хозяйством и закрытыми фильтрами с очистной мощностью 32 тысячи м<sup>3</sup>/сутки.



**Рисунок 1.9. - Схема очистных сооружений напорной станции**



**Рисунок 1.10. - Напорная станция, сифон**



**Рисунок 1.11. - Бассейн суточного регулирования с коагулянтным хозяйством**

Стадии очистки питьевой воды, применяемые в Душанбе, в целом состоят из очистки (коагуляции) поверхностной воды со смешанной дезинфекцией. Для грунтовых источников применяется только дезинфекция.

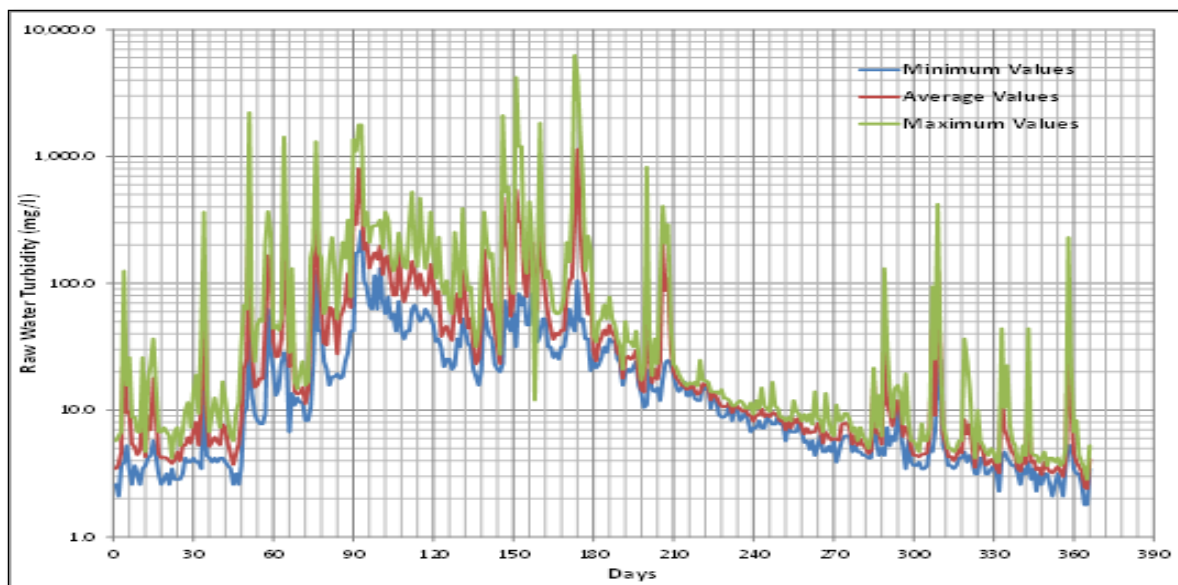
Для Душанбе характерна довольно развитая, но все еще слабая структура сети водоснабжения. Многие жители имеют домовые или дворовые соединения, но качество обслуживания плохое. Давление довольно часто недостаточное и оказание услуг, летом, в особенности верхним этажам многоквартирных домов прекращается.

На сегодняшний день Всемирный Банк, Европейский банк реконструкции и развития (ЕБРР) и Швейцарский офис по сотрудничеству являются основными партнерами Таджикистана по восстановлению городского и сельского водоснабжения. Улучшение работы городских служб, финансируемых ВБ главным образом сосредоточены на водоснабжении через две текущие деятельности: Второго Проекта Водоснабжения города Душанбе (DWSP) и Проекта по Развитию Муниципальной Инфраструктуры (ПРМИ), целью которых является восемь провинциальных городов.

DWSP принес ощутимые улучшения для обеспечения надежного, безопасного и качественного водоснабжения Душанбе. Почти 40 км трубопроводной сети были заменены, насосные установки для получения подземных вод обновлены, установлено энергосберегающее оборудование, частично были отремонтированы системы фильтрации и хлорирования и закуплены водомеры для определения производства и потребления воды. Технический и управленческий потенциал ДВК как коммунального предприятия, однако, улучшился лишь незначительно.

Качество очищенной воды определяется лабораторией ГУП «Душанбе-водоканал» только по некоторым основным параметрам.

Лаборатория ГУП «Душанбе-водоканал» осуществляет физический, химический и микробиологический анализ на систематической и регулярной основе не только для неочищенной воды, но также и для очищенной.



**Рисунок 1.12. - Изменение мутности в сырой воде в течение 2018 года**

Как видно по рисунку, изменения мутности сырой воды зарегистрированы в очень большом диапазоне:

- минимальная мутность сырой воды в течение 2018 года: 1.8 мг/л;
- средняя мутность сырой воды в течение 2018 года: 53.4 мг/л;
- максимальная мутность сырой воды в течение 2018 года: 2250 мг/л.

## **1.2. Обзор известных способов интенсификации процесса коагуляции воды**

Вопросы водоснабжения и очистки природных вод приобретают в настоящее время большое практическое значение. Выбор оптимальной технологической схемы очистки воды является достаточно сложной задачей. Это обусловлено многообразием находящихся в воде загрязняющих веществ и высокими требованиями, предъявляемыми к качеству очищенной воды.

Анализ патентной литературы [83-86] по рассматриваемой проблеме показывает, что в настоящее время имеются разработки в области совершенствования технологии подготовки питьевой воды, основанные на способе обработки исходной воды перманганатом калия и последующей очистке алюможелезосодержащим коагулянтом [83]. А также использовании метода напорной флотации, который предусматривается перед введением коагулянт-

та в очищаемую воду при осветлении и обесцвечивании маломутных цветных вод [84]. Перечисленные изобретения позволяют снизить расход используемого коагулянта, однако требуют значительной модернизации существующих очистных сооружений. По практическому опыту эксплуатации водочистных станций и на основе многочисленных экспериментальных исследований [90, 79, 27] видно, что усовершенствование и модернизация коагулянтной обработки воды является одной из основной технологической проблемой.

Существенные особенности, которые значительно действуют на интенсификацию хода реагентной обработки воды [79, 104, 27], можно отнести следующие факторы:

1. Повышение дозы коагулянта до оптимальной увеличивает скорость хлопьеобразования. Этому процессу также способствуют повышение температуры и интенсивность перемешивания коагулянта с очищаемой водой. В процессе хлопьеобразования и гидролизе коллоидной системы самым медленным процессом является коагуляция частиц. При невысоких температурах снижаются статичность коллоидных частиц и продуктивность их соударения, что обуславливает агломерацию. Снижение температуры воды от 20°C и до 1°C влечёт за собой продление времени коагуляции приблизительно в 1,5 раза. Это вызвано тем, кинетическая подвижность частиц в воде уменьшается с повышением ее вязкости.

2. При низких температурах водоисточников, с повышением гидратационной степени гидролиза коагулянта, которая служит увеличению размеров частиц, в воде снижается подвижность загрязнений. С увеличением гидратационной степени частиц уменьшается количество их соударений, что ведет к урегулированию процесса коагуляции [27].

3. Увеличение подвижности загрязнений в очищаемой воде в процессе коагуляции осуществляется при ее перемешивании. Так, например, эффективное хлопьеобразование происходит при совершенствовании работы гид-

равлических смесителей, увеличения времени перемешивания, а также ряда других факторов. Механическое смешивание очищаемой воды с введенным в неё реагентом играет важную роль в повышении эффективности хлопьеобразования и её дальнейшего осветления.

4. Предварительная обработка воды окислителями также повышает эффективности процесса коагуляции. Это подтверждается тем, что окислители разрушают гидрофильные органические соединения, урегулирующие дисперсные примеси, которые облегчают ход коагуляции. Применять окислители наиболее результативно во время обработки слабомутных цветных вод. При этом возрастает гидравлическая крупность хлопьев и улучшается процесс осаждения воды.

Исходя из вышеизложенного, следующих методов можно выделить как методы, улучшающие процесс очистки воды реагентами, которых можно разделить на несколько групп [104, 107]:

- а) модернизация режима реагентной обработки высокомутной воды реагентами – сульфатом алюминия и флокулянтном – ПАА;
- б) дополнение сорбционных и минеральных материалов к существующей технологии;
- в) рециркуляция коагулированной взвеси в месте подачи реагента;
- г) применение механического смешивания коагулянтов с водой в камерах хлопьеобразования и смесителях или аэрационное смешивание очищаемой воды;
- д) замена традиционных коагулянтов на другие более эффективные коагулянты и флокулянты;
- е) применение вспомогательных окислителей: озона, хлора и др.;
- ж) дополнение реагентной очистки воды с применением физических методов в: очищении загрязненной воды магнитным и электрическим полем; воздействии ультрафиолетовым облучением или ультразвуком и др.;



з) совершенствование очистных сооружений, особенно, фильтров и отстойников, а также правила их эксплуатации.

Из указанного списка действий видно, что некоторые из них можно выполнить в рамках существующих технологий, в других случаях нужно реконструировать очистных сооружений или изменить технологическую схему очистки. Заключение по приспособляемым методам должны приниматься в зависимости от качества очищаемой воды и примесей, которым подбирают идеальных условий для процесса коагуляции - доза и вид коагулянтов и флокулянтов, а также место и порядок их введения, предварительное окисление хлором или прочими окислителями, порядок перемешивания и др. [107, 108, 82, 79]. С учетом этих условий и на основе обзора работы действующих очистных станций выбираются специальные методы обработки воды.

Основные методы, которые улучшают процесс реагентной обработки воды с помощью коагулянтов, включают в себя такие положения:

1. В очищаемую воду коагулянт, как правило, вводится непрерывно одной полной порцией в конкретную точку.

По практике использования коагулянтной обработки воды видно, что на многих водопроводных очистных станциях применялись и применяются разные методы подачи реагента, которые дают возможность сократить расход коагулянта и этим снизить эксплуатационные расходы на его закупку.

К этим методам принадлежат [7]:

- а) введение коагулянта фракционно;
- б) проведение процесса коагуляции концентрированно (раздельно);
- в) проведение процесса коагуляции прерывисто;
- г) работа на остро недостающих дозах коагулянта и пр.

2. Почти на всех станциях водоподготовки, дополнительно к коагулянту используют флокулянт ПАА, т.е. полиакриламид. Согласно СНИП, а также «Технологическим указаниям на применение ПАА» [82] временный разрыв между вводом реагентов должен быть не более 2 мин.

Но в сущности эти два реагента чаще всего вводятся в одну точку. В итоге подобного введения реагентов значительно понижается эффективность хлопьеобразования. Вследствие этого факта, чтобы эффективно использовать флокулянт следует обеспечить указанное время от начала коагуляции до введения флокулянта соответственно предлагаемому временному разрыву. Подобный интервал времени имеет возможность меняться согласно качеству исходной воды, главным образом в зависимости от её мутности, температуры и подобранного технологического режима водоочистки на определенной станции водоподготовки.

3. Процесс образования хлопьев проходит медленно во время очистки слабомутных цветных вод, особенно в холодное время года, когда хлопья получаются мелкими и почти не оседают в отстойниках. При данных обстоятельствах полная нагрузка возлагается на сооружения для фильтрования. По этой причине сокращается длительность процессов фильтрования и возрастает число промывок фильтров, а само качество воды наряду с этим не отвечает всем требованиям. В подобное время года на станциях водоподготовки рационально применять метод контактной коагуляции на фильтрах, при этом реагент необходимо вводить прямо перед фильтрующей загрузкой. Имеется возможность осуществления введения раствора реагента перед каждым фильтром или в трубопровод, который подаёт воду из отстойников.

### **1.3. Современные технологии водоподготовки**

За прошедшие годы в стране заострились трудности достоверного и разумного снабжения населения, аграрного хозяйства и местных потребителей водой требуемого качества.

В последнее время невзирая на уменьшение объёмов изготовления продукции продолжается фиксирование нарастающих загрязнений родников водоснабжения и обликов спектра концентраций загрязняющих веществ антропогенного (в главную очередь, техногенного) происхождения, встречаю-

щихся в водоёмах и водотоках. К этому привело то, что построенные по проектам 50-60-тых годов организации водоснабжения населённых мест и промышленных предприятий, в реальное время не в состоянии улаживать возложенные на них задачи в подобающей мере. Ситуация усложняется и распространёнными проблемами в подготовке инженеров соответственной подготовленности для области водопроводно-канализационного хозяйства, снижением роли и функций ведомственных и междуведомственных комиссий по приёму в создании восстанавливаемых, создаваемых и преобразуемых сооружений, технологий и систем водоснабжения в общем [10].

В настоящее время по причине несовершенства данной системы, всё чаще жители прибегают к необходимости установления дополнительных систем доочистки водопроводной воды в своей квартире и на работе. Накипь, цвет и запах - все эти качества водопроводной воды каждый потребитель получает в настоящее время. Поэтому и увеличивается рост технологической схемы водоочистки, установлением в квартирах систем фильтров доочистки, и таким образом происходит подорожание стоимости чистой питьевой воды. Чтобы получить качественную питьевую воду, жители обязываются расходовать дополнительные финансы на покупки фильтров. Однако главным звеном считаются очистные сооружения в ходе водоочистки. Они обязаны гарантировать параметры свойства и качества питьевой воды [11].

Также следует отметить, что эффективность работы очистных сооружений снижается от устарелой технологии. Ощутимо удешевить процесс очистки воды можно добиться, применив современные технологии.

С каждым годом появляются очень много новейших технологий в сфере водоподготовки. Основными из них являются - компактные установки озонирования, ультрафиолетовое обеззараживание, мембранная фильтрация, применения современных реагентов и др. Целесообразно было бы использовать их в создании новых технологических схем водоподготовки.

Совершенно надёжного функционирования системы водоснабжения достичь невозможно, так как она, являясь характерно сложной и территориально рассредоточенной, в процессе использования располагается под влиянием массы не очень благоприятных моментов, абсолютное большинство которых носит случайный, на практике неуправляемый характер. В следствие этого точно предвещать, а тем более ликвидировать полностью их негативное воздействие невозможно.

В настоящее время очистным сооружениям приходится справляться с совокупностью функций ввиду весьма большого уровня загрязнённости источников водоснабжения, охватывающих осветление, обесцвечивание, устранение привкусов и запахов, обеззараживание.

Имеющиеся физические технологии водоочистки в образовавшейся мере высокого потребления воды имеют возможность применяться только как способы, усиливающие ход химической обработки воды.

В настоящее время исключительно физико-химические способы очистки помогают получить воду, которая соответствует нормативам качества питьевой воды и в требуемом объёме. Также они являются самыми недорогими и общедоступными методами.

Главным аспектом надёжности систем водоочистки считается стабильное выполнение строгих требований нормативов качества очищенной воды.

На фоне того, что часто изменяется качество воды источника и не имеется его прогноза, растёт загрязненность источников воды сточными водами от промышленности и бытовых нужд и имеется в них целый ряд загрязняющих веществ, среди которых и техногенного происхождения, а это именно соли тяжёлых металлов, пестициды, нефтепродукты, ПАВ, фенолы и прочее, так еще вдобавок повышаются запросы к качеству питьевой воды, которую получают потребители, и в таких условиях эти технологии лишь иногда могут гарантировать очистку в установленных нормах по кое-каким показателям. Помимо всего этого, нецелесообразное пользование потенциалом со-

оружений предварительной очистки, таких водозаборов как – ковшей, фильтрующих каналов, «биоплато» и больших искусственных наливных водоемов, вызывает возрастание грязевой нагрузки на основные сооружения станций водоподготовки.

Чтобы поднять санитарную надежность водопроводных сооружений для очистки воды в российской и заграничной практике в таких условиях прибегают к вспомогательным методам доочистки воды, к таким как ионный обмен, озонирование, обратный осмос, сорбция и прочее. Всё это конечно влечёт за собой огромные затраты на реагенты, оборудование, транспортные перевозки и электроэнергию.

Оценка эффективности существующих технологий водоподготовки и оснований, которые мешают свободному продвижению вспомогательных методов сорбции и озонирования, принцип подбора, комплексный подход к подтверждению технологических схем и развитию процессов водоочистки при разработке новых и реконструкции нынешних станций водоочистки являются чрезвычайно важными и нуждаются во внимательном отношении специалистов [27].

#### **1.4. Нормативы качества питьевой воды**

До сегодняшнего дня нормативы качества питьевой воды в Таджикистане должны отвечать действующим обязательным требованиям СанПиН 2.1.4.004-07. «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарные правила и нормы».

Вода, которая подается от централизованной сети водоснабжения подразделяется на следующие виды: питьевая и техническая. Техническая вода употребляется на заводах при технологических процессах. А питьевая вода обеспечивает пищевые предприятия, и прежде всего жилые дома. Она непосредственно имеет контакт с человеком, из-за этого питьевая вода имеет

необходимость неукоснительного соответствия всем принятым для неё требованиям.

Несомненно, вода является главным каналом передачи различных заболеваний среди населения. Так как здоровье людей напрямую зависит от качества питьевой воды, то ведется постоянный контроль и проверка соблюдения нормативов при питьевой водоподготовке. Чтобы поддержать надлежащий состав питьевой воды на требуемом уровне, начиная с восьмидесятых годов прошлого столетия, в полном объеме используют определенные требования, изложенные в нормативах.

Основание для нынешних требований к качеству питьевой воды – это ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством», но он в настоящее время уже не действует. В этом ГОСТе упоминается о том, что безвредность воды оценивается на основании следующих критериев:

- органолептические свойства;
- эпидемиологические свойства;
- химический состав.

Гигиенические требования к составу воды также устанавливают нормативные величины следующих показателей:

- водородного показателя;
- показателя жесткости;
- показателя остаточного количества сухого вещества;
- содержания ПАВ и АПАВ.

Согласно СанПиН 2.1.4.004-07. «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарные правила и нормы», пригодность питьевой воды по эпидемиологической части устанавливается её соответствием нормативным показателям по паразитологии и микробиологии [95], тем, что отображены в таблице 1.4.1.

**Таблице 1.4.1 – Нормативы по паразитологическим и микробиологическим показателям воды**

Показатели	Единицы измерения	Нормативы
Термотолерантные колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл.	Отсутствует
Общие колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл.	Отсутствует
Общее микробное число	Число образующих колоний бактерий в 1 мл	Не более 50
Колифаги	Число бляшкообразующих единиц (БОЕ)	Отсутствует
Споры сульфитредуцирующих клостридий	Число спор в 20 мл	Отсутствует
Цисты лямблий 3)	Число цист в 50 л	Отсутствует

Безвредность питьевой воды по химическому составу устанавливается её соответствием нормативным требованиям по:

- обобщенным показателям и содержанию вредных химических веществ, наиболее часто встречающихся в природных водах на территории Республики Таджикистан, а также веществ антропогенного происхождения, получивших распространение по всему миру (таблица 1.4.2).

- наличие опасных химических веществ, проникающих и появляющихся в воде в ходе её обработки в системе водоснабжения (таблица 1.4.3).

**Таблица 1.4.2 – Нормативы по обобщенным показателям и содержанию вредных химических веществ в воде**

Показатели	Единица измерения	Нормативы (предельно допустимые концентрации (ПДК), не более)	Показатель вредности	Класс опасности
Обобщенные показатели				
Водородный показатель	Единицы рН	В пределах 6-9	-	-
Общая минерализация (сухой остаток)	Мг/л	1000 (1500)	-	-
Жесткость общая	Моль/л	7,0 (10)	-	-
Окисляемость перманганатная	Мг/л	5,0	-	-
Нефтепродукты, суммарно	Мг/л	0,1	-	-

«Продолжение табл. 1.4.2»

Поверхностно-активные вещества (ПАВ), анионо-активные	Мг/л	0,5	-	-
Фенольный индекс	Мг/л	0,25	-	-
Неорганические вещества				
Алюминий ( $Al^{3+}$ )	Мг/л	0,5	С.- т.	2
Барий ( $Ba^{2+}$ )	-// -	0,1	-// -	2
Бериллий ( $Be^{2+}$ )	-// -	0,0002	-// -	1
Бор (В, суммарно)	-// -	0,5	-// -	2
Железо (Fe, суммарно)	-// -	0,3 (1,0)2	Орг	3
Кадмий (Cd, суммарно)	-// -	0,001	С. т.	2
Марганец (Mn), суммарно	-// -	0,1 (0,5)2)	Орг.	3
Медь (Cu, суммарно)	-// -	1,0	-// -	3
Молибден (Mo, суммарно)	-// -	0,25	С. Т.	2
Мышьяк (As, суммарно)	-//-	0,05	С.Т.	2
Никель (Ni, суммарно)	-//-	0,1	С.Т.	3
Нитраты (по $NO_3$ )	-//-	45	Орг.	3
Ртуть (Hg, суммарно)	-//-	0,0005	С.Т.	1
Свинец (Pb, суммарно)	-//-	0,03	-//-	2
Селен (Se, суммарно)	-//-	0,01	-//-	2
Стронций ( $Sr^{2+}$ )	-//-	7,0	-//-	2
Сульфаты ( $SO_4^{2-}$ )	-//-	500	Орг.	4
Фториды (F)				
Для климатических районов				
В условиях высокогорья	-//-	1,5	С.Т.	2
В условиях среднегорья	-//-	1,2	-//-	2
В условиях долины	-//-	0,7	-//-	2
Хлориды ( $Cl^-$ )	-//-	350	Орг.	4
Хром ( $Cr^{6+}$ )	-//-	0,05	С.Т.	3
Цианиды (CN)	-//-	0,035	-//-	2
Цинк ( $Zn^{2+}$ )	-//-	5,0	Орг.	3
Органические вещества				
у- ГХЦГ (линдан)	-//-	0,002	С.Т.	1
ДДТ (сумма изомеров)	-//-	0,002	-//-	2
2,4 - Д	-//-	0,03	-//-	2



**Таблица 1.4.3 – Нормативы по обобщенным показателям антропогенного происхождения**

Показатели	Единица измерения	Нормативы (предельно - допустимые концентрации (ПДК), не более)	Показатель вредности	Класс опасности
Хлор				
Остаточный свободный	Мг /л	В пределах 0,3-0,5	Орг.	3
Остаточный связанный	- // -	В пределах 0,8-1,2	Орг.	3
Хлороформ (при хлорировании воды)	- // -	0,2	С. -т.	2
Озон остаточный	- // -	0,3	Орг.	-
Формальдегид (при озонировании воды)	- // -	0,05	С. – т.	2
Полиакриламид	- // -	2,0	- // -	2
Активирования кремнекислоты (по Si)	- // -	10	- // -	2
Полифосфаты (по PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	- // -	3,5	Орг.	3
Остаточные количества алюминий – и железосодержащих коагулянтов	- // -	См. показатели «Алюминий», «Железо» таб.2	-	-

Питьевая вода должна соответствовать безопасности по отношению к эпидемиологическим и радиационным показателям, безопасна по химическому составу и обладать положительным органолептическим качеством.

Безвредность воды для питья относительно эпидемиологии устанавливается неимением в ней болезнетворных вирусов, бактерий и простейших микроорганизмов, её согласованностью требованиям норм по показателям микробиологии и паразитологии, указанным в таблице 1.4.4.

**Таблица 1.4.4 - Нормативы по микробиологическим и паразитологическим показателям**

Наименование показателя	Норматив
Термотолерантные колиформные бактерии	Отсутствие в 100 см <sup>3</sup>
Общие колиформные бактерии	отсутствие в 100 см <sup>3</sup>
Общее микробное число	не более 50 колоний бактерий в 1 см <sup>3</sup>
Энтеровирусы	Отсутствие

## **Выводы по главе 1**

1. Проведенный анализ состояния систем водоснабжения города Душанбе выявил наличие серьезного комплекса проблем, а также позволил определить ключевые позиции для их решения. При этом необходимо отметить, что существует ряд сложностей и ограничений для решения проблем. Однако непринятие своевременных мер по их решению может привести к тяжелым последствиям для всего городского сообщества;

2. Водоподготовка методом коагуляции необходимо принимать в зависимости от особенностей источника водоснабжения и показателей качества воды. Поэтому перед принятием решения об усовершенствовании существующих схем водоподготовки необходимо проводить детальный анализ характеристик водоисточника по сезонам года и пробную коагуляцию с учетом всех вышеизложенных факторов. Для совершенствования технологического процесса водоподготовки предлагается использовать современные реагенты.

3. Новейшие технологии в сфере водоподготовки целесообразно использовать в повышение надежности узла седиментации технологических схем. На сегодняшний день использование передовых коагулянтов и флокулянтов, а также методов по интенсификации процесса их работы, исследование и прогнозирование процесса осаждения становятся жизненно востребованными.

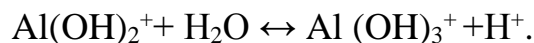
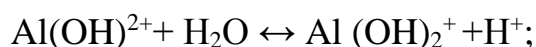
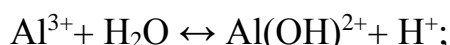
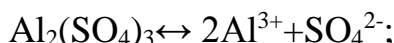
4. Для поддержания правильного состава питьевой воды на достаточном уровне активно используется ряд требований, описанных в нормативных документах.

## Глава 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РЕАГЕНТНОГО ОСВЕТЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

### 2.1. Общие характеристики исследуемого коагулянта и флокулянтов

Чтобы ускорить выпадение взвешенных веществ в воде, в качестве коагулянта на очистных станциях водоподготовки г. Душанбе применяют сернокислый алюминий  $Al_2(SO_4)_3$ . Он представляет собой водный раствор, который имеет концентрацию 7,2% по активному веществу. Его производят в г. Яване и используют как в хозяйственно-питьевом и промышленном водоснабжении, так и в промышленности для очистки сточных вод. Ионы  $Al^{3+}$ , которым следует гидролизироваться до  $Al(OH)_3$  поступают в воду вследствие растворения сульфата алюминия.

Влияние сернокислого алюминия обеспечивается его гидролизом, который заканчивается получением геля гидроокиси алюминия  $Al_2(OH)_3$  и свободной углекислоты. После того, как введен в воду сернокислый алюминий процесс реакций получает вид:



Полученная гидроокись алюминия  $Al(OH)_3$  выражает собой коллоидное вещество, у которого частицы заряжены положительно. При этом коллоиды (кремнекислота, гуминовые вещества и пр.), которые содержатся в исходной воде, имеют отрицательный заряд. Все это приводит к уравниванию зарядов частиц этих двух коллоидов, что в свою очередь порождает их совместную коагуляцию с хлопьеобразованием [25]. Именно по этой причине при использовании сульфата алюминия как коагулянта, нужно неустанно

строго контролировать значение рН в обрабатываемой воде [11, 12, 68,116,118,119].

Процесс осветления воды можно интенсифицировать с помощью высокомолекулярных флокулянтов, в частности поли акриламида (ПАА) [25]. При добавке полиакриламида происходит ускорение слипания агрегативно неустойчивых твердых частиц. Интенсифицирующее действие полиакриламида вызвано адсорбцией его молекул на частицах взвеси и хлопьях коагулянта.

Столь высокую применимость высокомолекулярных флокулянтов для активизации водоочистки на одном и том же источнике воды, возможно, объяснить изменением качества воды по временам года [41]. Анализ имеющихся публикаций по очистке воды, показывает, что в основном исследованию подвергается ограниченное количество марок флокулянтов и коагулянтов, что не всегда приведет к оптимальному инженерному решению. Следует также учитывать сложности, вызванные большим выбором продукции от разных фирм производителей.

POLY SEPAR AN 34 TW компании «SEPAR CHEMIE GmbH», Германия [124]; — это синтетический анионный полиакриламидный флокулянт, представляющий собой белый порошок с очень высокой молекулярной массой. Он полностью растворяется в воде и образует высоковязкий раствор. Его используют в очистке питьевой воды согласно EN 1407: 2008. Продукт необходимо добавить в воду и при использовании сильно размешать с водой. Никогда не надо действовать наоборот, добавление воды к продукту вызовет агломерацию, что потом его сложно или невозможно растворить. POLY SEPAR AN 34 TW следует беречь от атмосферной влаги и воды, от сильной жары и холода, его нужно хранить в контейнерах в сухом, прохладном и проветриваемом месте, при температуре от 5 до 35 ° С. Используемый полимер используется в соответствии с немецким постановлением о внесении удобрений DüMV, как разлагаемый продукт.

Чем природные флокулянты, наиболее широкое использование получили синтетические флокулянты с высокой молекулярной массой (ВМФ). Включение в них разнообразных заместителей и функциональных групп приводит к облегчению варьирования их химического состава, заряда и пространственного строения, а значит и способность флокулирования относительно конкретных дисперсий. Производство синтетических флокулянтов обычно намного дешевле, нежели получение флокулянтов из натурального сырья. Кроме того, микроорганизмы, которые разлагают активный компонент, имеют менее интенсивное развитие в растворах искусственных флокулянтов, чем в растворах природного происхождения [63].

Нитрофлок 215 является органическим катионным флокулянтом и представляет собой гелеобразный раствор светло-желтого цвета без особого запаха. Данный флокулянт предназначен для очистки питьевой воды. Нитрофлок 215 производится российской компанией.

## **2.2. Методика и оборудования для проведения экспериментальных исследований**

Степень и способы водоочистки, конструкция и состав сооружений для очистки воды в индивидуальном порядке зависят от качества исходной воды и от требований, предъявляемых к качеству воды. Оптимальные пути повышения качества воды для хоз-питьевых целей – это дезинфекция, обесцвечивание, удаление соединений железа, устранение неприятного запаха из воды, осветление, фторирование и дефторирование.

Осветление воды — это извлечение из воды диспергированных примесей. Исходя из предъявляемых требований, осветление можно получить путем отстаивания воды в отстойниках; процессом центрифугирования в гидроциклонах; пропуском воды сквозь слой взвешенного осадка, образованного ранее в так называемых осветлителях; процессом фильтрования через слой фильтрующего порошка на намывных фильтрах или сквозь слой фильтрую-

щего зернистого материала в скорых фильтрах; процессом фильтрования сквозь сетки на барабанных ситах, микро- и акустических фильтрах, через пористых перегородок и пр.

Для интенсификации процесса осаждения взвеси применяют ее коагулирование, для чего в воду добавляют реагенты - коагулянты и флокулянты. В результате формируются плотные крупные агрегаты, на поверхности которых адсорбируются примеси - хлопья, быстро осаждающиеся и увлекающие за собой частицы взвеси. Вводимые в обрабатываемую воду реагенты должны быть хорошо и быстро перемешаны с ней в смесителях. При применении отстойников воды из смесителя поступает в камеру хлопьеобразования, где обеспечиваются оптимальные условия для формирования хлопьев.

Процесс, вызывающий коагуляцию водных примесей должен протекать в контактной среде в осветлителях при наличии слоя взвешенных хлопьев или имея статически зернистый слой в контактных осветлителях. В первом случае, осветление воды в основном завершается её фильтрованием на быстродействующих фильтрах, а вот во втором случае, благодаря контактному процессу коагуляции примесей воды во время её фильтрования сразу же обеспечивается необходимый уровень осветления.

Для проведения лабораторных исследований (измерений) качества питьевой воды допускаются метрологические аттестованные методики, утвержденные Госстандартом и Министерством здравоохранения Республики Таджикистан. Отбор проб воды для анализа проводят в соответствии с требованиями государственных стандартов.

Исследования проводились на базе лаборатории контроля качества воды ГУП «Душанбеводоканал». Для оценки эффективности применения коагулянта СА и флокулянта на стадии предочистки был применен адаптированный метод пробной коагуляции. Анализ отобранных проб проводили в соответствии с СанПиНом 2.1.4.559 - 96 «Питьевая вода. Гигиенические тре-

бования». Определение мутности проб осуществляли с помощью фотоколориметра КФК-2.

### **Описание процесса:**

Пробы доставляли в лабораторию в 10л ведрах, искусственно полученные в лабораторных условиях с добавлением к водопроводной воде осадков бассейна суточного регулирования (БСР) самотечной очистной станции г.Душанбе.

Проверялись следующие физико-химические показатели исходной воды:

- температура;
- мутность;
- рН (водородный показатель);
- цветность.

Для проведения лабораторного исследования применялись следующие материалы, реактивы, аппаратуры:

- 10л ведро – для исследуемой воды;
- маленький цилиндр для взбалтывания осадков;
- мерные стаканы (10 штук) объемом 250 мл. В них наливалось 100 мл дистиллированной воды. В каждый дозировался коагулянт и полимер, 1%-й, 2%-й, 3%-й, 4%-й и 5%-й растворы;
- мерные цилиндры объемом 1000 мл для осветления (5шт.);
- ФЭК с зеленым светофильтром =530нм для определения мутности воды;
- весы лабораторные (аналитические) для взвешивания коагулянта и флокулянта;
- пипетки мерные по ГОСТ 29227 вместимостью 1, 2, 5, 10 см<sup>3</sup> с делениями на 0,1 см<sup>3</sup>;
- рН-метр (иономер) для измерения водородного показателя и температуры воды;

- коагулянт - сернокислый алюминий,  $Al_2(SO_4)_3$ ;
- флокулянт (поли акриламид) - POLY SEPAR AN 34 TW.

После быстрого взбалтывания осадка в воде, взяли пробу для определения основных показателей качества воды: рН, цветность, мутность и температура. Мутность воды определяли фотометрически - ФЭК. Перед тем, как определить мутность воды, во избежание ошибок произвели калибровку фотокolorиметров по жидким стандартным суспензиям мутности. В кювету с толщиной поглощающего свет слоя 100 мм вносили хорошо взболтанную испытуемую пробу и измеряли оптическую плотность в зеленой части спектра ( $\lambda=530$  нм).

Испытания проводились при 4-х разных значениях мутности в пробах, которые составляли: 187, 575, 1035 и 1715 мг/дм<sup>3</sup>.

После определения основных показателей воды приступили к подготовке процесса осветления воды. В мерные стаканы (10 штук) вместимостью 250 мл - 500мл наливалась от 100 до 500мл дистиллированной воды для приготовления концентрированного раствора коагулянта и флокулянта. Навеску коагулянта и полимера для приготовления концентрированного раствора взвешивали на аналитических весах: 1,2,3,4,5г. Рабочий раствор коагулянта готовили растворением в дистиллированной воде до концентрации 1%, 2%, 3%, 4% и 5% - го раствора. Также готовили концентрированный раствор из полимера POLY SEPAR AN 34 TW от 1 до 5% - го состава. Затем концентрированный раствор разбавляли до рабочей концентрации 0,1-0,5%, необходимой для применения.

После определения температуры исходной испытуемой воды ее разливают в мерные колбы вместимостью 1000 мл для осветления и в каждую колбу с исходной водой добавляют по 1-5 мл 1-5%-ного раствора коагулянта сульфата алюминия и интенсивно перемешивают. Через определенный промежуток времени вращательную скорость понижали до минимума, и добавляли от 0,1-0,5% -го раствора флокулянта с медленным перемешиванием.



а)



б)



*а) процесс введения коагулянта;*

*б) процесс осаждения воды*

**Рисунок 2.1. – Процесс коагуляции в лабораторных условиях**

Осаждение продолжалось 60 минут, в ходе осаждения каждые 15, 30, 40 и 60 минут отбирались пробы верхнего слоя 7-10 см воды, стараясь не взмучивать осадок, и оценивали процесс хлопьеобразования и скорость осветления воды.

а)



б)



*а) до процесса осветления;*

*б) после 60 минут процесса осветления*

**Рисунок 2. 2. - Процесс седиментации исследуемой воды, скоагулированная с флокулянтom POLY SEPAR AN 34 TW**

30 минутный процесс осветления в цилиндрах равнозначен двум часам отстаивания взвешенных веществ в отстойниках [93], что считается хорошим результатом. Через 60 минут эксперимента в пробах также измеряли мутность, цветность и водородный показатель - рН.

Этот способ очистки можно считать эффективным, если использовать меньшие дозы коагулянта и минимальные дозы флокулянта, и при этом достичь высокую степень очистки.

Проанализировав данные, полученные в результате методом пробного коагулирования можно оценить эффективность применения коагулянта и современного флокулянта на реально существующих сооружениях водоподготовки ОССВ в периоды паводка.

### **2.3. Кинетика процесса осветления воды**

Необходимое оборудование:

- стеклянные стаканы емкостью 1 л - 5 штук;
- лабораторный флокулятор.

а) заливаем во все стеклянные цилиндры по 1 литру воды для исследования;

б) в каждом из этих цилиндров включаем мешалки, с перемешивающей скоростью равной 200 об/мин;

в) дозой 50 мг/дм<sup>3</sup> смесового раствора коагулянта и полимера типа «Poly Separ» добавляем в каждый стакан;

г) через 1 минуту мешалку переключаем на режим медленного перемешивания, с вращательной скоростью лопасти равной 40 об/мин;

д) через 15 минут выключаем мешалки - стадия осаждения;

е) через 1 час – эксперимент окончен.

Отбираем пробы в такой последовательности: первый стакан через 15 минут, после того как начнется процесс осаждения; второй стакан - через 30 минут, после того как начнется седиментация; третий стакан - через 40 минут после начала седиментации; четвертый стакан - через час после процесса осаждения.

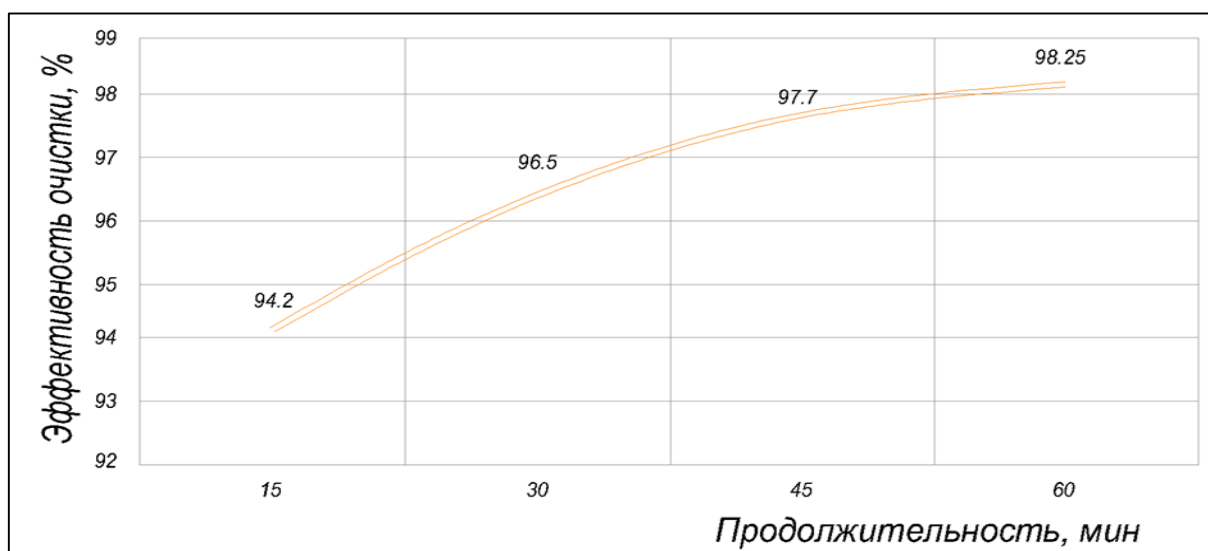
А воду для проб отбираем на 2-х сантиметровой глубине от водной поверхности. В пробах, которые отобрали, определяем показатели мутности и

результативность очистки по этим данным. Итоги эксперимента для построения кривой эффекта осаждения представлены в таблице 2.3.1.

**Таблица 2.3.1 - Эффективность осветления воды в зависимости от времени при 5% дозы коагулянта и полиакриламида**

Наименование показателей	Время отбора проб, мин.				
	0	15	30	45	60
Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	1035	60,35	36,21	24,13	18,10
Э <sub>м</sub> , %	0	94,2	96,5	97,7	98,25

По полученным показаниям построим кривую роста эффективности процесса осаждения воды, который показывает эффект осветления по времени (рисунок 2.3).



**Рисунок 2.3. - График зависимостей эффекта водоочистки от времени**

По данным исследований, проведенных на базе лаборатории качества воды ГУП «Душанбеводоканал», повышение эффективности очистки высокомутных поверхностных вод в схемах с осветлением воды в слое осадка во взвешенном состоянии намного результативнее с применением анионного полиакриламида совместно с коагулянтом (рисунок 2.3).

Это допускает сокращение дозы коагулянта, по крайней мере в 2 раза, и при этом получение необходимого требуемого качества мутности воды (не больше 0,02 мг на 1 литр).

## 2.4. Динамика осветления поверхностных вод в лабораторных условиях

По данным лабораторных испытаний выявлено, что при проведении коагуляции сернокислым алюминием совместно с флокулянтами эффективность водоочистки по цветности и мутности повышается на 5-10%, процесс водоочистки проходит гораздо активнее. Это доказывает усиливающее действие полимера на процесс коагуляции по сравнению с процессом коагуляции, который проходит по традиционному способу с использованием лишь одного коагулянта.

Работа скорых фильтров зависит от качества осветленной воды, подающейся к ним вслед за предшествующим осаждением, поэтому хлопья, образующиеся в результате коагуляции, должны в большой степени удаляться на стадии отстаивания, а на процесс фильтрации идет вода, которая содержит только следы хлопьев.

На рисунках 2.4 и 2.5 приводим динамику осветления воды в лабораторных условиях.

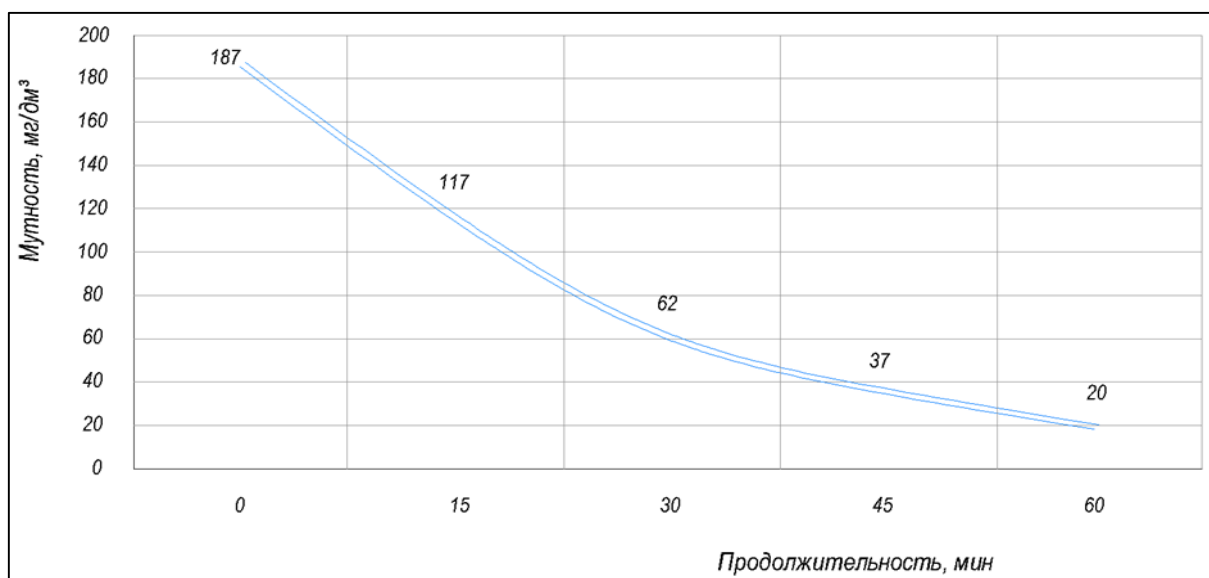
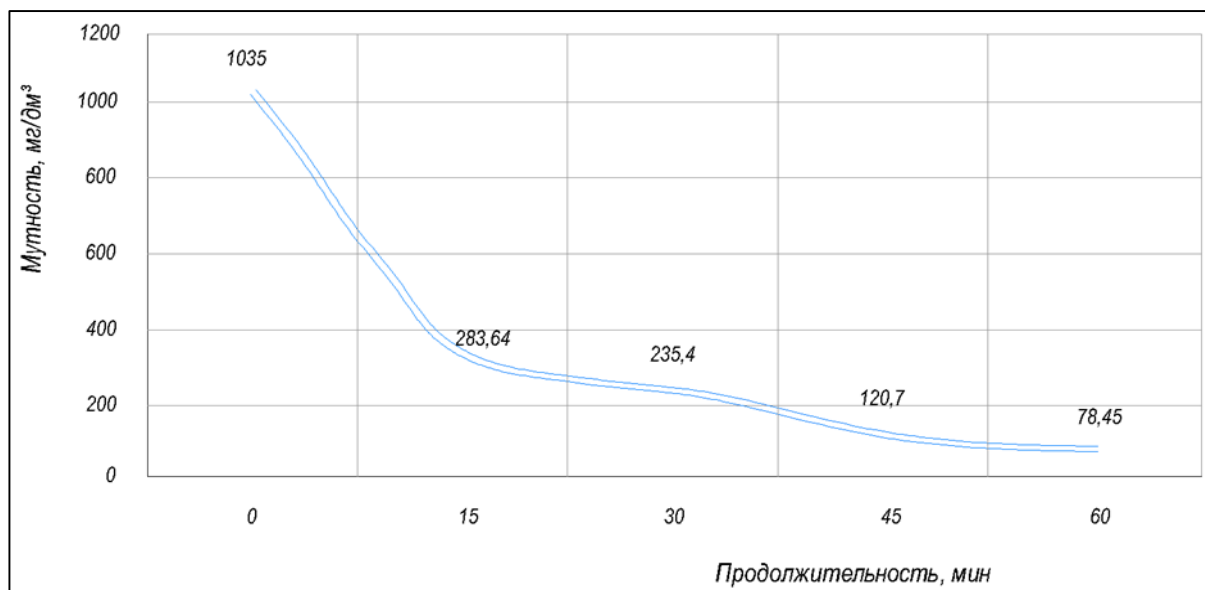
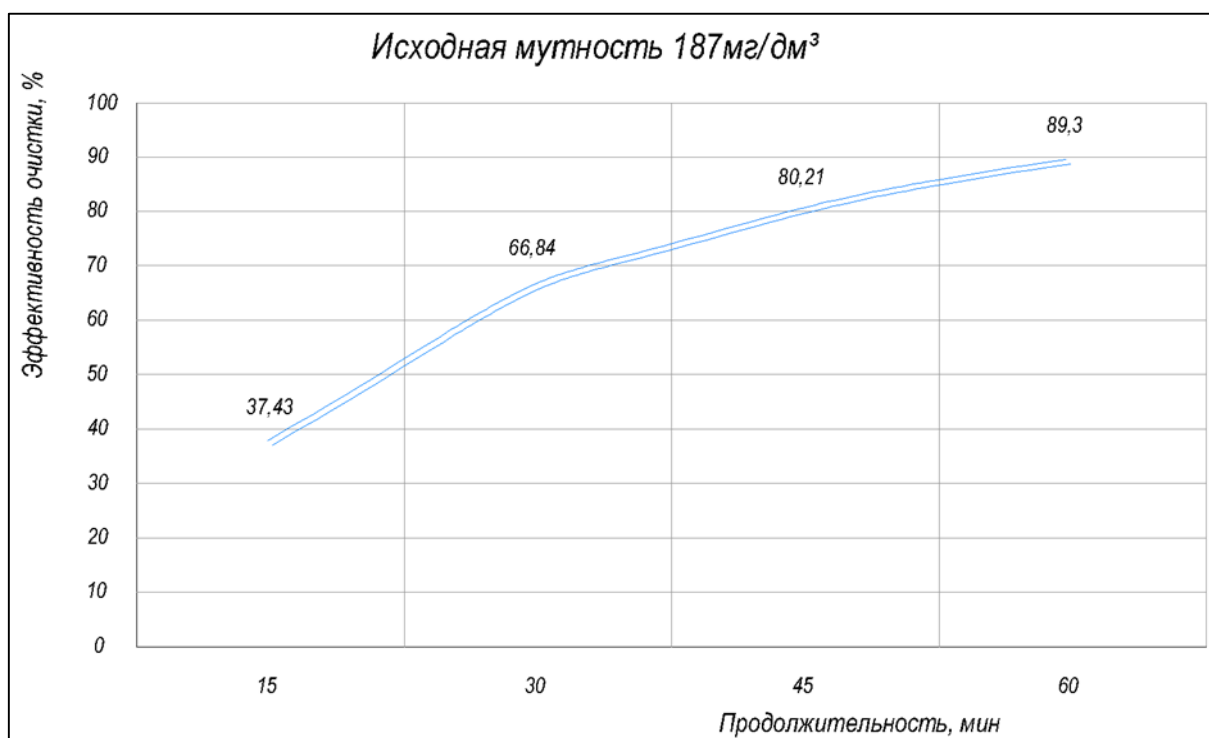


Рисунок 2.4. - Динамика осветления воды в лабораторных условиях, при  $D_k=10\text{мг/дм}^3$  и  $D_f=0,1\text{мг/дм}^3$

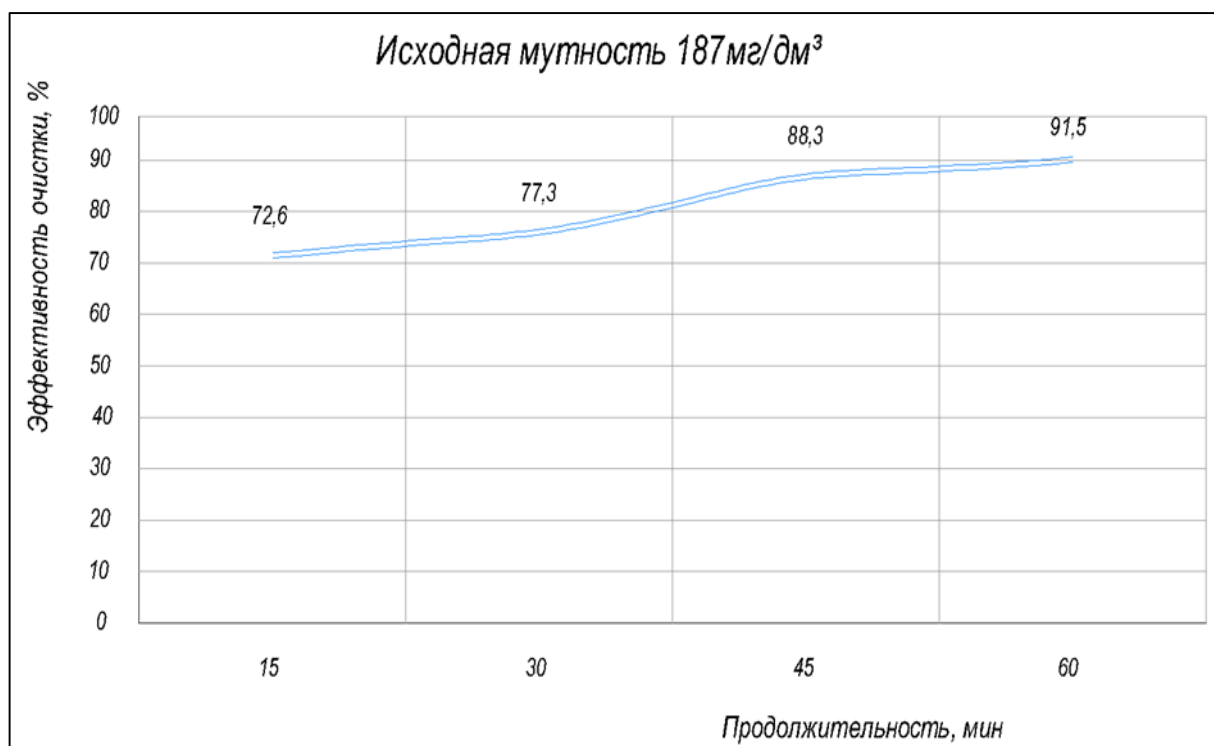


**Рисунок 2.5. - Динамика осветления воды в лабораторных условиях при  $D_k=20\text{мг/дм}^3$  и  $D_\phi=0,2\text{мг/дм}^3$**

Как видно по рисункам 2.4 и 2.5, динамика осветления воды в лабораторных условиях даже при содержании высоких показателей мутности в воде имеет общий характер. Процесс осаждения воды наиболее интенсивно происходит в первые 15-30 минут.



**Рисунок 2.6. - График зависимостей эффекта водоочистки от времени, при  $D_k=10\text{мг/дм}^3$  и  $D_\phi=0,1\text{мг/дм}^3$**



**Рисунок 2.7. - График зависимостей эффекта водоочистки от времени, при  $D_k=20\text{мг/дм}^3$  и  $D_f=0,2\text{мг/дм}^3$**

В результате применения флокулянта POLY SEPAR AN 34 TW сформировались крупные хлопья, которые быстро осаждались в процессе осажде-ния. По графику степени осветления воды подтвердилось влияние совмест-ного применения коагулянта и полимера на процесс водоочистки. В резуль-тате применения только одного коагулянта СА наблюдалось замедление ско-рости осажде-ния взвешенных веществ, а при его сочетании с флокулянтом образовались крупные и быстро осаждаемые плотные хлопья. На динамику процесса осветления воды с использованием флокулянта температура не ока-зывает никакого влияния; процесс проходит соответствующим образом даже при низких температурах воды.

Также в целях сравнительного анализа применения современных фло-кулянтов нами были проведены ряд лабораторных исследований по предва-рительному осветлению поверхностных вод. В качестве флокулянта нами было исследовано новый флокулянт – Нитрофлок 215, который производится российской компанией. Нитрофлок 215 является органическим катионным

флокулянтом и представляет собой гелеобразный раствор светло-желтого цвета без особого запаха. Данный флокулянт предназначен для очистки питьевой воды.

В условиях лаборатории нами был проведен ряд опытов по установлению воздействия совместного применения коагулянта сульфата алюминия и флокулянта нитрофлока 215 на предварительную обработку воды. Испытания проводились при 4-х разных значениях мутности в пробах, которые составляли: 238, 420, 1030 и 1500 мг/дм<sup>3</sup>.

Доза коагулянта - сернокислого алюминия в пересчете на гидроксид алюминия составляла от 10 мг/л до 50 мг/л, а дозы нитрофлока 215 - 0,1 до 0,5 мг/дм<sup>3</sup>.

После определения температуры исходной испытуемой воды ее разливают в мерные колбы вместимостью 1000 мл для осветления и в каждую колбу с исходной водой добавляют по 1-5 мл 1-5%-ного раствора коагулянта сульфата алюминия и интенсивно перемешивают. Через определенный промежуток времени вращательную скорость понижали до минимума, и добавляли флокулянт от 0,1-0,5% -го раствора с медленным перемешиванием (рис.2.8).



*а) до процесса осветления;*

*б) после 60 минут процесса осветления*

**Рисунок 2.8 - Процесс седиментации исследуемой воды, скоагулированная с флокулянтном нитрофлок 215**

Осаждение продолжалось 60 минут, в ходе осаждения каждый раз через каждый интервал времени 15, 30, 40 и 60 минут брались пробы верхнего 7-10-сантиметрового слоя воды, стараясь не взмучивать осадок, и оценивали процесс хлопьеобразования и скорость осветления воды.

Результаты измерений и данные пробной коагуляции совместного применения смеси коагулянта СА и флокулянта Нитрофлок 215 при изменяющихся концентраций взвешенных веществ в исходной воде представлены в таблице 2.4.1.

**Таблица 2.4.1 - Результаты осветления воды в зависимости от времени исследования и дозы смеси коагулянта сульфата алюминия и флокулянта Нитрофлок 215**

Исходная мутность, мг/дм <sup>3</sup>	Раствор коагулянта, мг/дм <sup>3</sup>	Раствор флокулянта нитрофлока 215, мг/дм <sup>3</sup>	Время исследования проб, мин				
			0	15	30	40	60
238	1	0,1	238	78	57	52	49,0
	2	0,2	238	72	57	52	41
	3	0,3	238	62	44	39	27,9
	4	0,4	238	57	39	31	25,9
420	20	0,2	420	22,7	20,2	19,1	17,1
	30	0,3	420	17,6	14,0	11,9	11,4
	50	0,5	420	14,0	10,9	9,3	8,8
1030	20	0,2	1030	31	30,5	28,9	27,9
	30	0,3	1030	27,9	24,8	24,3	20,7
	50	0,5	1030	23,8	21,7	20,2	17,6
1500	20	0,2	1500	114	40,3	36,1	35,1
	30	0,3	1500	103	39,2	36,1	34,1
	50	0,5	1500	57	29,9	28,9	24,8

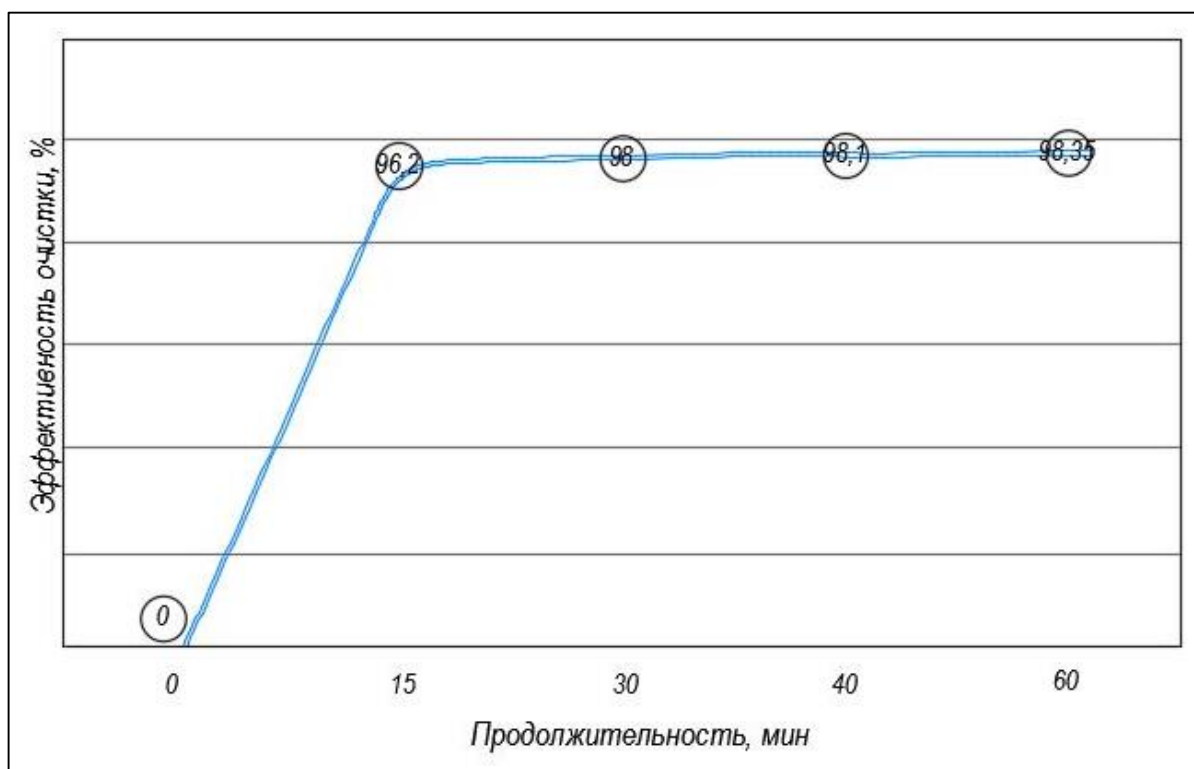
Воду для проб отбираем на 2-х сантиметровой глубине от водной поверхности. В пробах, которые отобрали, определяем показатели мутности и высчитываем результативность очистки по этим данным. Результаты проведенных лабораторных испытаний, которые используются для выяснения эффективности процесса осветления воды представлены в таблице 2.4.2.



**Таблица 2.4.2 - Эффективность процесса водоочистки при сочетании 5%-ной дозы флокулянта Нитрофлок 215 и коагулянта СА**

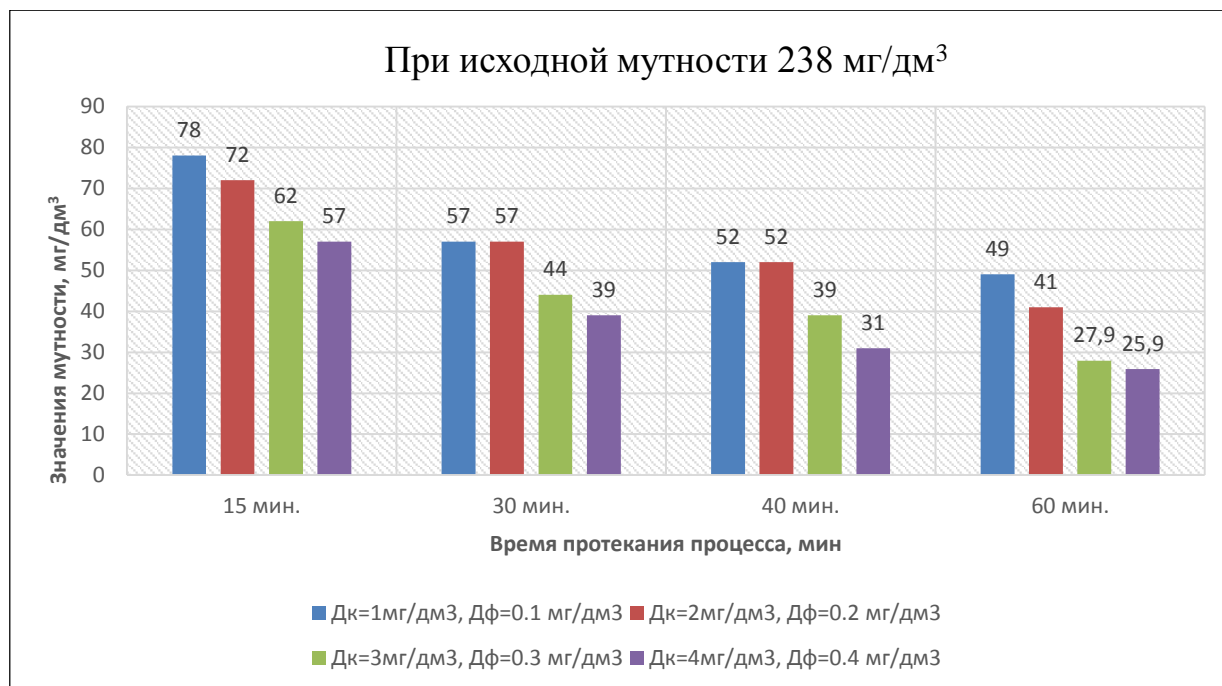
Наименование показателей	Время отбора проб, мин.				
	0	15	30	40	60
Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	1500	57,0	29,9	28,9	24,8
Э <sub>м</sub> , %	0	96,2	98,0	98,1	98,35

По приобретенным показаниям нарисуем кривую роста эффективности процесса осаднения воды, который позывает результат осветления во времени (рисунок 2.9).



**Рисунок 2.9. - График зависимостей эффекта водоочистки от времени**

График результатов лабораторных испытаний процесса седиментации воды при исходной мутности - 238 мг/дм<sup>3</sup> и различных значениях параметра времени и количество растворов коагулянта и флокулянта нитрофлок 215 представлен на рис. 2.10.



**Рисунок 2.10 - График процесса седиментации воды при исходной мутности - 238мг/дм<sup>3</sup> и различных значениях параметра времени и количество растворов коагулянта и флокулянта нитрофлок 215**

По результатам лабораторных исследований мы пришли к выводу, что при высокомутных водах совместное использование коагулянта СА с флокулянт Нитрофлок 215 дает более эффективный результат, чем классический метод, о чем свидетельствует протекание процесса осаждения взвешенных веществ.

## **Выводы по главе 2**

1. Одним из широко применяемых на практике приемов обработки воды является коагулирование взвешенных и коллоидных частиц. Для оценки эффективности применения коагулянта сульфата алюминия и флокулянтов «POLY SEPAR AN 34 TW» и Нитрофлок 215 был применен адаптированный метод пробной коагуляции, что позволил выявить возможности их применения.

2. Малые дозы коагулянта сульфата алюминия при высокомутных водах практически не оказывают воздействия на эффективность водоочистки, на

кинетику процесса влияют незначительно. Кинетика осветления воды в лабораторных условиях повышается при вводе в исходную воду небольших доз флокулянтов.

3. По графику степени осветления воды подтвердилось влияние совместного применения коагулянта и флокулянтов на процесс водоочистки. В результате применения только одного коагулянта СА наблюдалось замедление скорости осаждения взвешенных веществ, а при его сочетании с флокулянтами образовались крупные и быстро осаждаемые плотные хлопья. На динамику осветления воды с использованием флокулянта температура не оказывает никакого влияния, процесс проходит соответствующим образом даже при низких температурах воды.

4. По данным лабораторных испытаний выявлено, что при проведении коагуляции с сернокислым алюминием совместно с флокулянтом нитрофлок 215, эффективность водоочистки по цветности и мутности повышается на 5-10%.

## ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1. Анализ результатов исследований процесса водоподготовки

В качестве коагулянта на очистных станциях водоподготовки г. Душанбе для ускорения выпадения взвешенных веществ используют сернокислый алюминий  $Al_2(SO_4)_3$ . В лаборатории контроля качества воды ГУП «Душанбе-водоканал» для целесообразности совместного использования сернокислого алюминия с флокулянтами Нитрофлок 215 и POLY SEPAR AN 34 TW для очистки загрязненных вод в периоды осеннего и весеннего паводка нами проводились испытания. Результаты опытов пробной коагуляции, проведенные в лаборатории зарегистрированы в актах проведения испытаний.

Вода реки Варзоб, которая является единственным источником поверхностного водоснабжения города Душанбе в периоды осеннего и весеннего паводка содержит высокую мутность. В данных условиях станциям водоподготовки очень трудно снизить показателя мутности воды и доводить ее качество до требований нормативов питьевой воды. Следует отметить, что при обработке воды на очистных сооружениях используется сульфат алюминия, а при содержании в воде высоких показателей мутности ее дополнительно подщелачивают кальцинированной содой. Необходимо оперативно, и в некоторых случаях радикально изменить режим водообработки при изменении качества поверхностных вод по временам года. Главная технологическая задача, которая существенно влияет на интенсификацию процесса фильтрации, является предварительная очистка воды. Скорые кварцевые фильтры, которые служат для фильтрования мелких взвесей, в холодное время года выполняют задачу контактной коагуляции, так как при снижении температуры воды уменьшается кинетическая подвижность примесей в воде и процесс коагуляции протекает неудовлетворительно [3]. Следует отметить, что при этом уменьшается срок службы фильтровальных сооружений.

В лаборатории контроля качества воды ГУП «Душанбеводоканал» пробной коагуляцией нами проводились ряд экспериментов для целесообразности совместного использования сернокислого алюминия с флокулянтами Нитрофлок 215 и POLY SEPAR AN 34 TW.

Практически, реагентная обработка высокомутных вод производится при содержании взвешенных веществ не более 1500 мг/дм<sup>3</sup> [27].

Количество вводимого реагента, которое используется для реализации процесса коагуляции следует принимать по таблице [33], которая представлена в таблице 3.1.1.

**Таблица 3.1.1 - Доза коагулянта для обработки воды**

Содержание в воде взвешенных веществ в мг/дм <sup>3</sup>	Дозы безводного сернокислого алюминия в мг/дм <sup>3</sup>	Содержание в воде взвешенных веществ в мг/дм <sup>3</sup>	Дозы безводного сернокислого алюминия в мг/дм <sup>3</sup>
До 100	25-35	Свыше 800 до 1000	60-70
Свыше 100 до 200	30-40	Свыше 1000 до 1400	70-80
Свыше 200 до 400	35-45	Свыше 1400 до 1800	75-115
Свыше 400 до 600	45-50	Свыше 1800 до 2200	80-125
Свыше 600 до 800	50-60	Свыше 2000 до 2500	90-130

Данные экспериментов пробной коагуляции по применению сернокислого алюминия при различных концентрациях взвешенных веществ в испытуемой воде сведены в таблице 3.1.2.

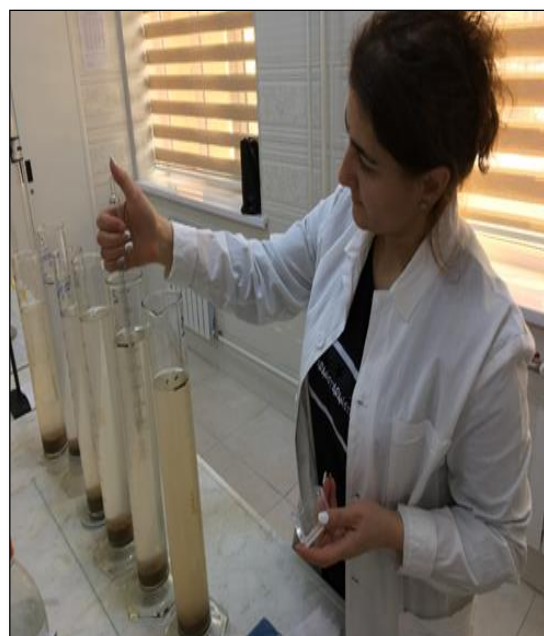
**Таблица 3.1.2 – Изменение показателей качества воды в зависимости от количества вводимого реагента и времени протекания процесса**

Исходная мутность, мг/дм <sup>3</sup>	Раствор коагулянта, мг/дм <sup>3</sup>	Время исследования проб, мин				
		0	15	30	45	60
180	30	187	77,5	52	44	42
	40	187	67,5	49	43	39
	50	187	49	47	39	33
	60	187	44	36,5	31	26,9
	70	187	27	23,65	22,25	19,7
470	30	470	202,36	135,8	114,9	109,7
	40	470	176,25	127,9	112,3	101,83
	50	470	127,9	122,72	101,83	86,2
	60	470	114,8	95,3	80,94	70,24
	70	470	70,5	61,75	58,1	51,44

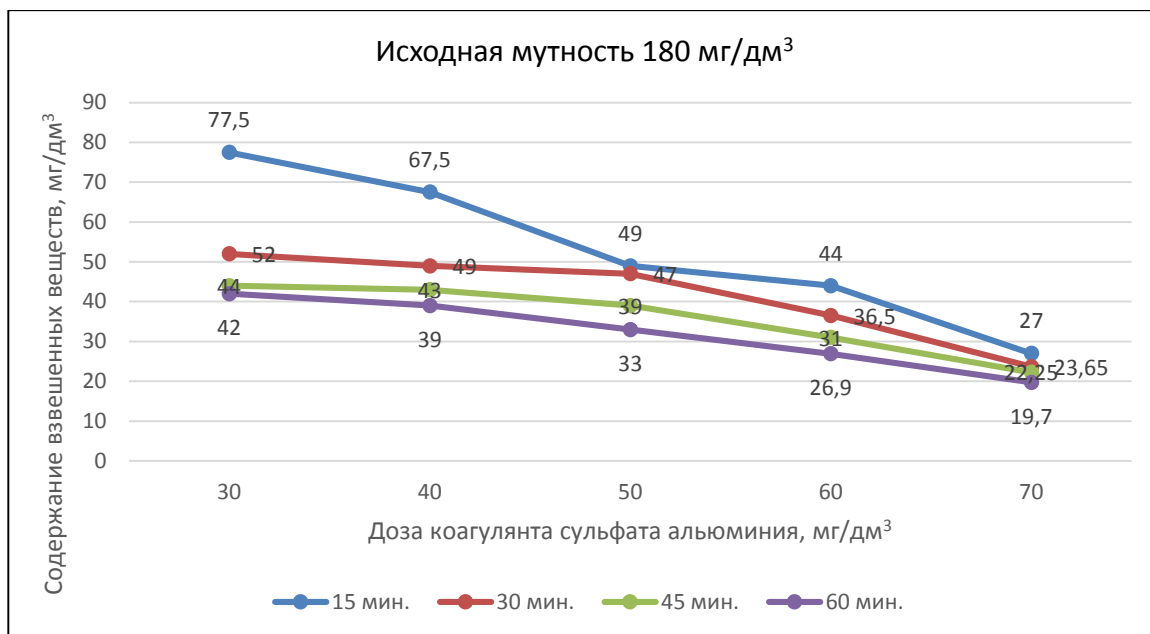
«Продолжение табл. 3.1.2»

1035	30	1035	445,62	299	253	241,5
	40	1035	388,1	281,75	247,25	224,25
	50	1035	281,75	270,25	224,25	189,75
	60	1035	253	209,9	178,25	154,7
	70	1035	155,25	136	128	113,3
1700	30	1700	731,94	491,1	415,6	396,7
	40	1700	637,5	462,8	406,1	368,3
	50	1700	462,8	443,9	368,3	311,7
	60	1700	415,5	344,7	293	254
	70	1700	255	223,4	210,1	186,05

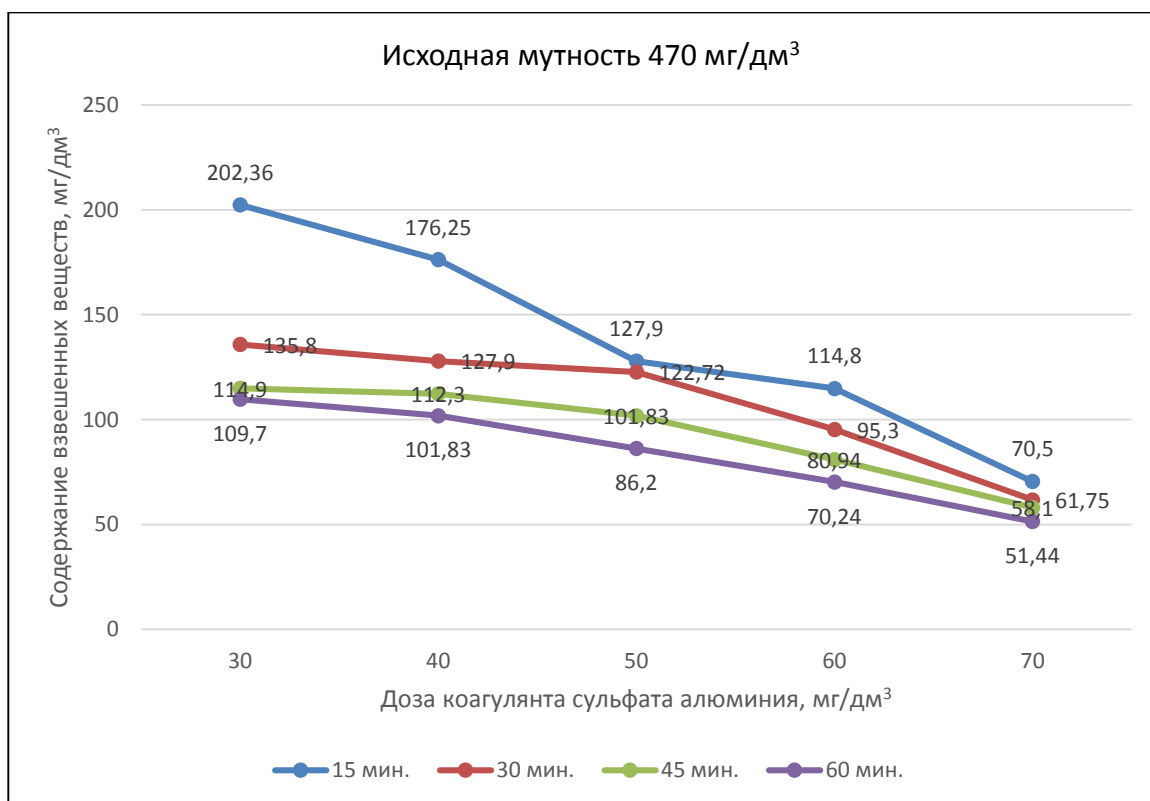
Следует отметить, что в процессе осветления воды методом пробной коагуляции с применением коагулянта сульфата алюминия образовывались мелкие частицы, которые медленно осаждались на дне цилиндра. При высоких дозах вводимого реагента значительно снижается рН воды, о чем говорит высокое содержание остаточного алюминия в пробах. Процесс пробной коагуляции с применением сернокислого алюминия представлен на рисунке 3.1.



**Рисунок 3.1. – Процесс осветления воды коагулянтom сульфата алюминия и отбор пробы**



**Рисунок 3.2 - Динамика изменения качества воды от влияния дозировки вводимого реагента (исходная мутность - 180 мг/дм<sup>3</sup>)**



**Рисунок 3.3. - Динамика изменения качества воды от влияния дозировки вводимого реагента (исходная мутность - 470 мг/дм<sup>3</sup>)**

По итогам эксперимента видно, что для благополучного коагулирования в процессе водоочистки с применением СА требуются большие дозы, что приведет к высоким концентрациям остаточного алюминия в воде.

С применением флокулянта POLY SEPAR AN 34 TW сформировались крупные хлопья, которые достаточно быстро осаждались. Совместное применение коагулянта СА и флокулянта POLY SEPAR AN 34 TW оправдало ожидание во всех экспериментах, даже при небольших дозах не разрушалась дисперсная система коллоидных частиц.

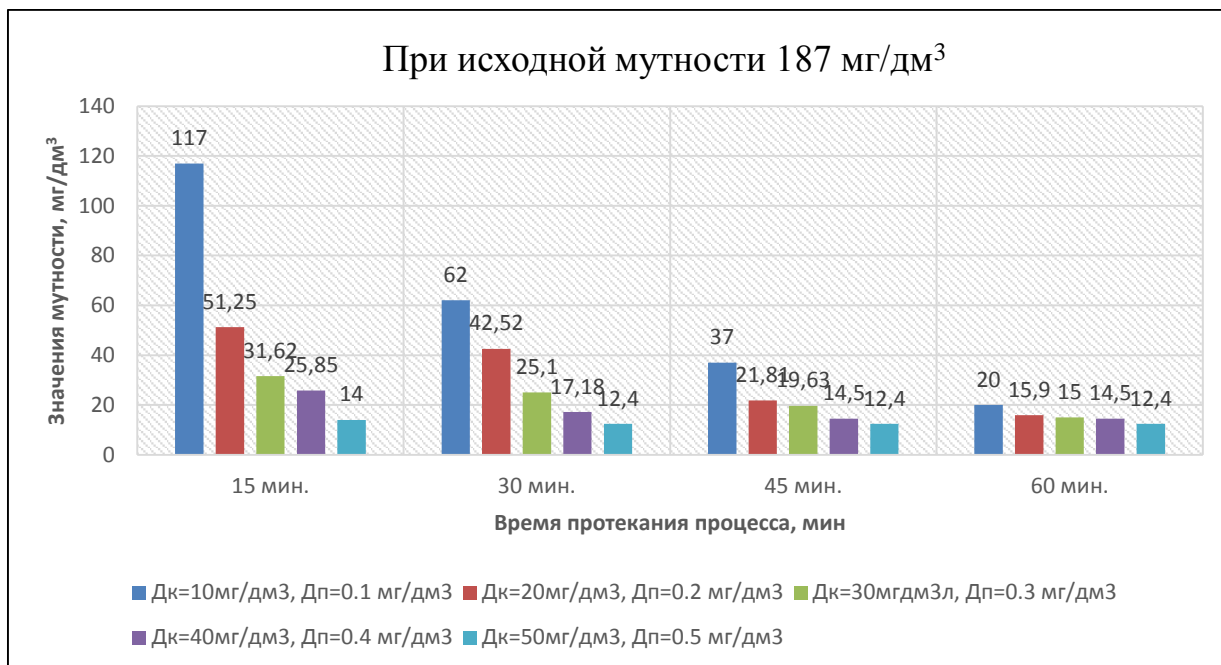
Данные экспериментов пробной коагуляции по совместному применению сернокислого алюминия и флокулянта POLY SEPAR AN 34 при различных концентрациях взвешенных веществ в испытуемой воде сведены в таблице 3.1.3.

**Таблица 3.1.3 – Результаты осветления воды в зависимости от времени исследования и дозы смеси коагулянта сульфата алюминия и флокулянта POLY SEPAR AN 34 TW**

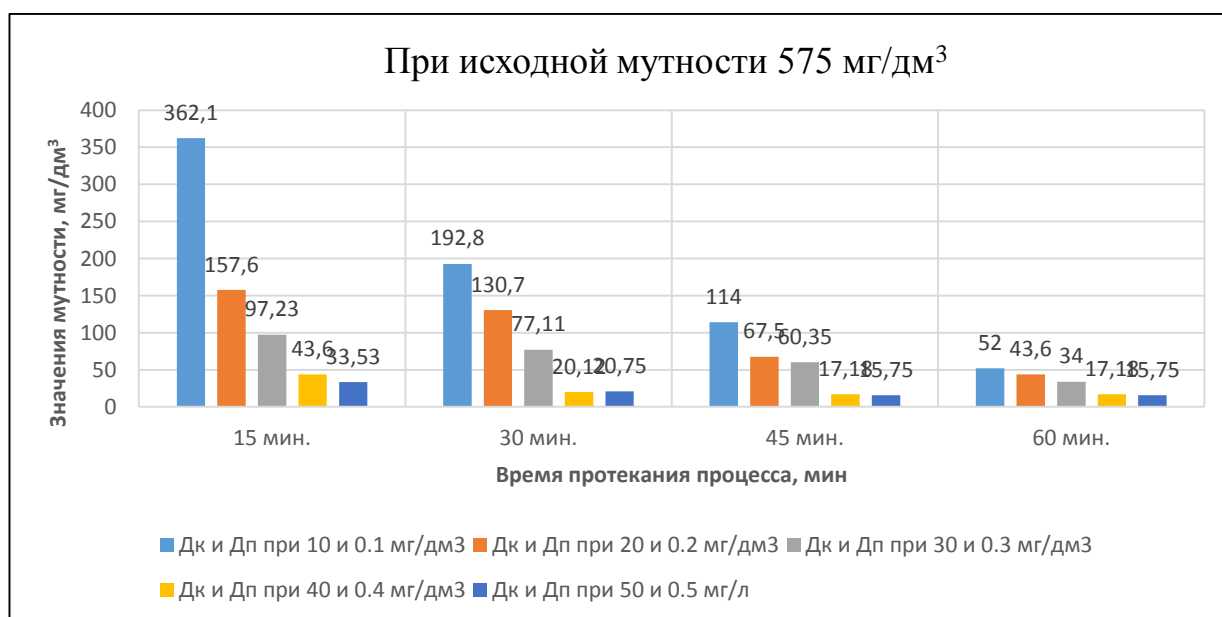
Исходная мутность, мг/дм <sup>3</sup>	Раствор коагулянта, мг/дм <sup>3</sup>	Раствор полимера, мг/дм <sup>3</sup>	Время исследования проб, мин				
			0	15	30	45	60
187	10	0,1	187	117	62	37	20,0
	20	0,2	187	51,25	42,52	21,81	15,9
	30	0,3	187	31,62	25,1	19,63	15
	40	0,4	187	25,85	17,18	14,5	14,5
	50	0,5	187	14	12,4	12,4	12,4
575	10	0,1	575	362,1	192,8	114	52
	20	0,2	575	157,6	130,7	67,5	43,6
	30	0,3	575	97,23	77,11	60,35	34
	40	0,4	575	43,6	20,12	17,18	17,18
	50	0,5	575	33,53	20,75	15,75	15,75
1035	10	0,1	1035	652	347	205,2	93,54
	20	0,2	1035	283,64	235,4	120,7	78,45
	30	0,3	1035	175,01	138,8	108,6	60,35
	40	0,4	1035	78,45	43	25	24,13
	50	0,5	1035	60,35	36,21	24,13	18,10
1715	10	0,1	1715	1080	575	340	155
	20	0,2	1715	470	390	200	130
	30	0,3	1715	290	230	180	100
	40	0,4	1715	130	60	40	40
	50	0,5	1715	100	47	30	30



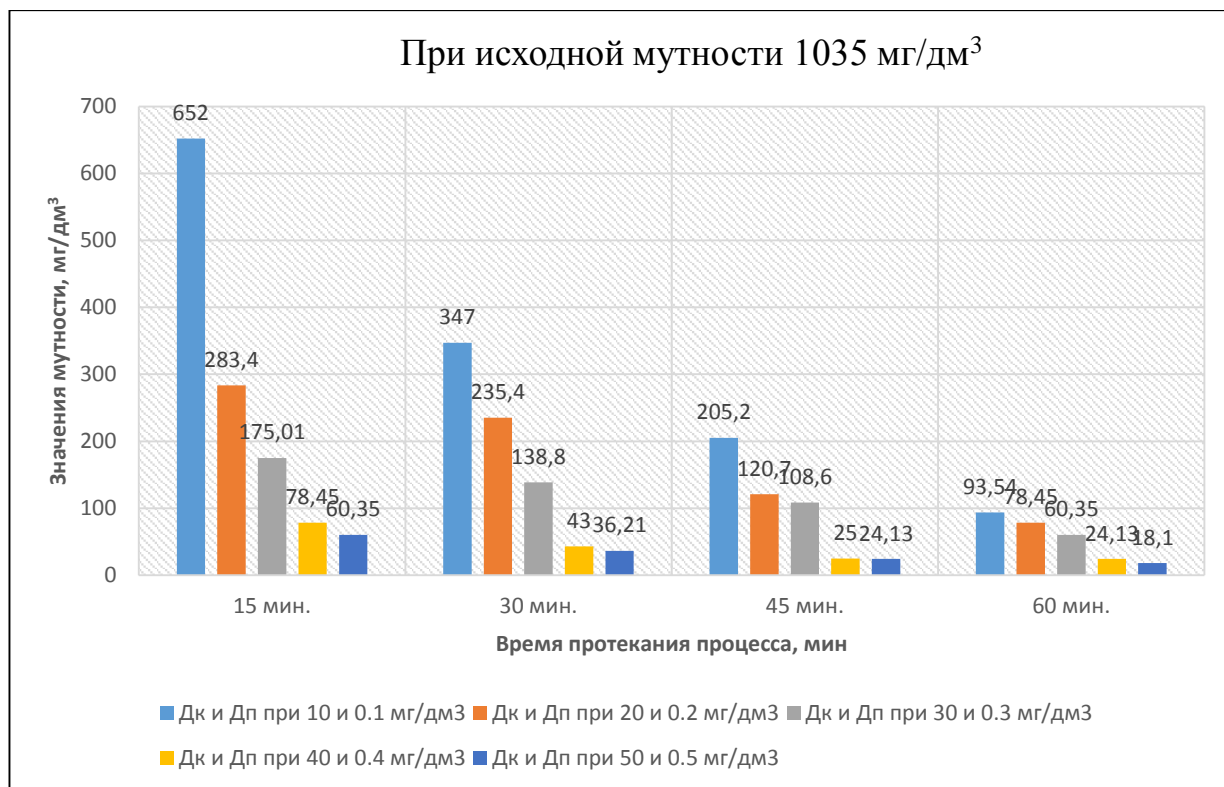
На рисунках 3.4, 3.5, 3.6 и 3.7 представлены результаты экспериментальных исследований совместного использования сернокислого алюминия с полимером POLY SEPAR AN 34 при различных концентрациях взвешенных веществ и количества вводимого реагента в испытуемой воде.



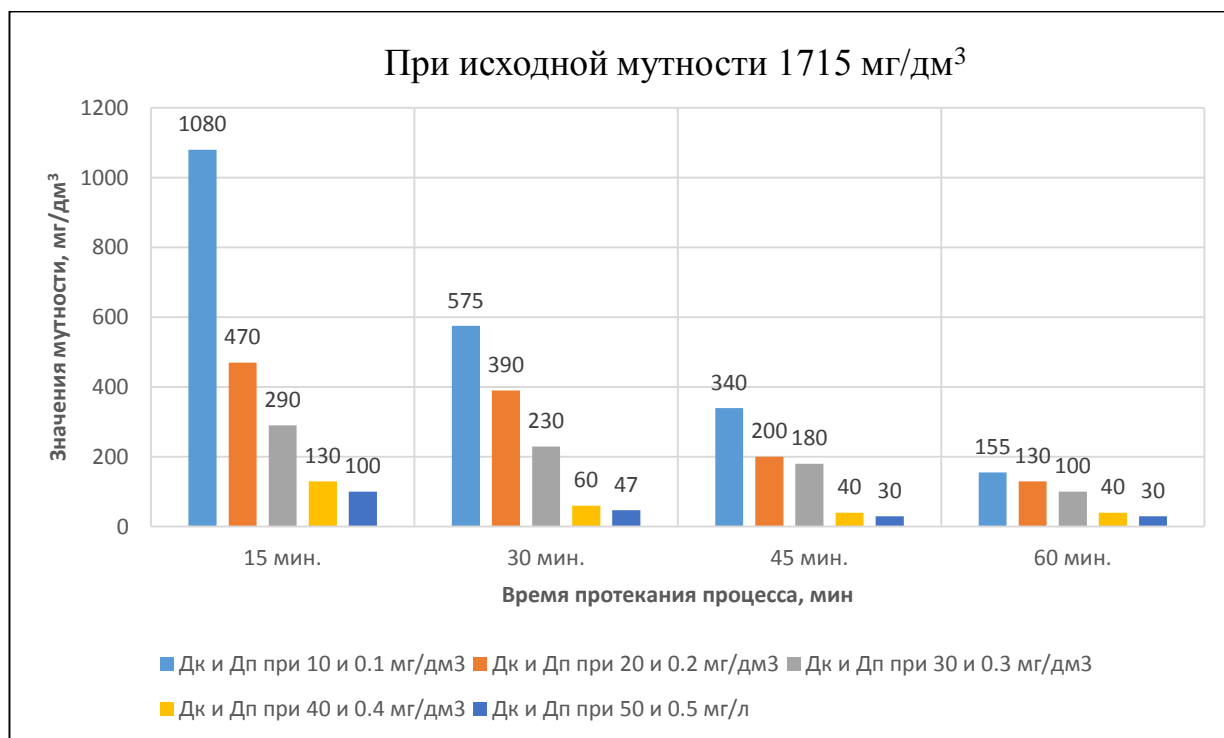
**Рисунок 3.4. - Результаты лабораторных испытаний по установлению зависимости степени водоочистки от времени и количества вводимых реагентов (исходная мутность - 187 мг/дм<sup>3</sup>).**



**Рисунок 3.5. - Результаты лабораторных испытаний по установлению зависимости степени водоочистки от времени и количества вводимых реагентов (исходная мутность - 575 мг/дм<sup>3</sup>).**



**Рисунок 3.6. - Результаты лабораторных испытаний по установлению зависимости степени водоочистки от времени и количества вводимых реагентов (исходная мутность - 1035 мг/дм<sup>3</sup>)**



**Рисунок 3.7. - Результаты лабораторных испытаний по установлению зависимости степени водоочистки от времени и количества вводимых реагентов (исходная мутность - 1715 мг/дм<sup>3</sup>)**

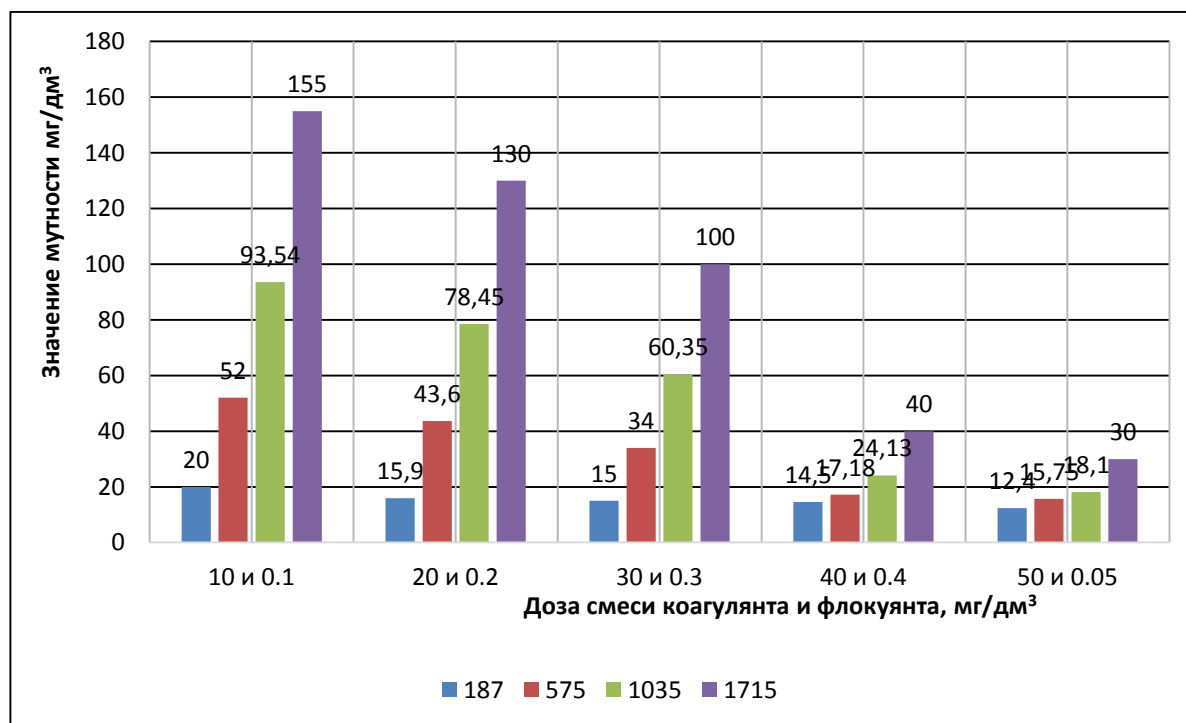
Характеристика изменения исследуемой воды в зависимости от дозы коагулянта и полимера после 60-минутного осаждения приведена в таблице 3.1.4.

**Таблица 3.1.4 - Тестирование смеси коагулянта и полимера типа «Poly Separ» в зависимости от дозы коагулянта и полимера**

Значение мутности, мг/дм <sup>3</sup>	После 60 мин. Осаждения									
	Д <sub>к</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Д <sub>п</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Д <sub>к</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Д <sub>п</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Д <sub>к</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Д <sub>п</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Д <sub>к</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Д <sub>п</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Д <sub>к</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Д <sub>п</sub> , мг/дм <sup>3</sup>
	10	0,1	20	0,2	30	0,3	40	0,4	50	0,5
187	20,0		15,9		15,0		14,5		12,4	
575	52,0		43,6		34		17,18		15,75	
1035	93,54		78,45		60,35		24,13		18,10	
1715	155,0		130,0		100,0		40,0		30,0	

Как видно из таблицы, независимо от высоких значений мутности эффект осветления достигается уже при дозе 10 мг/дм<sup>3</sup> и более.

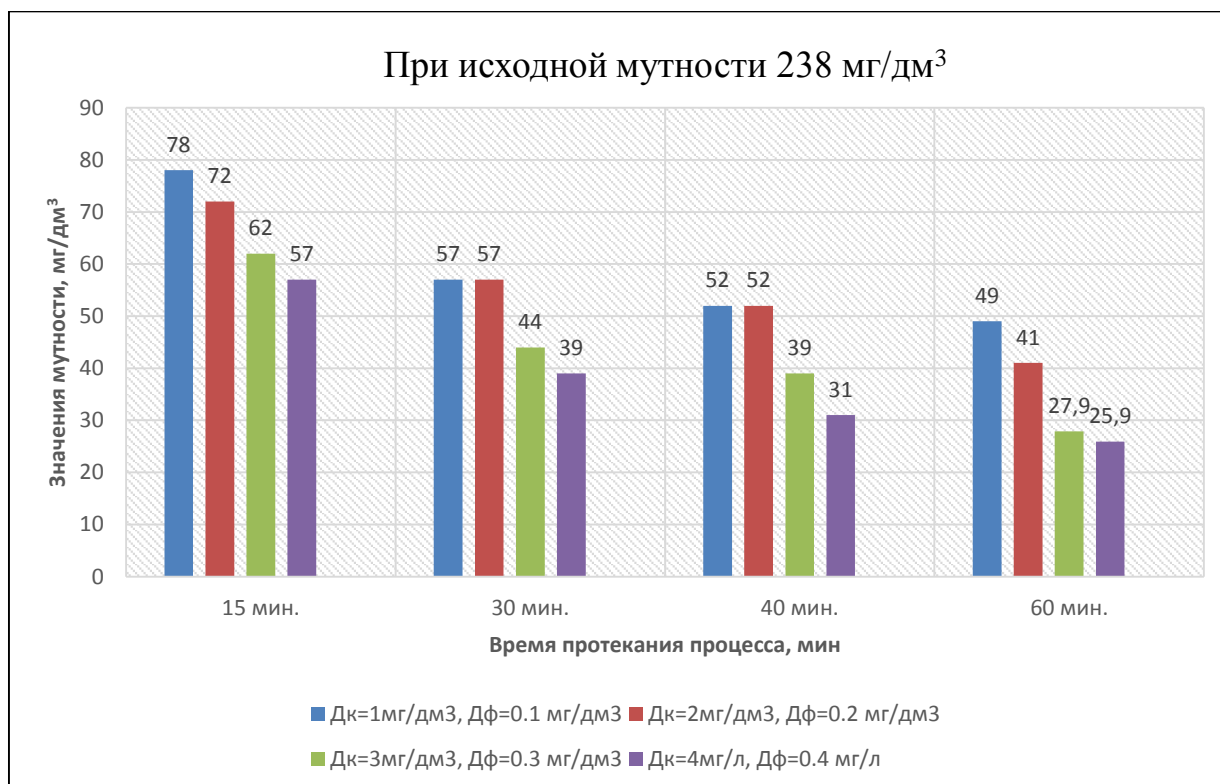
В процессе обработки воды, подтвержденной исследованием определена оптимальная доза смеси полимера и коагулянта сульфата алюминия равная 50 мг/дм<sup>3</sup>.



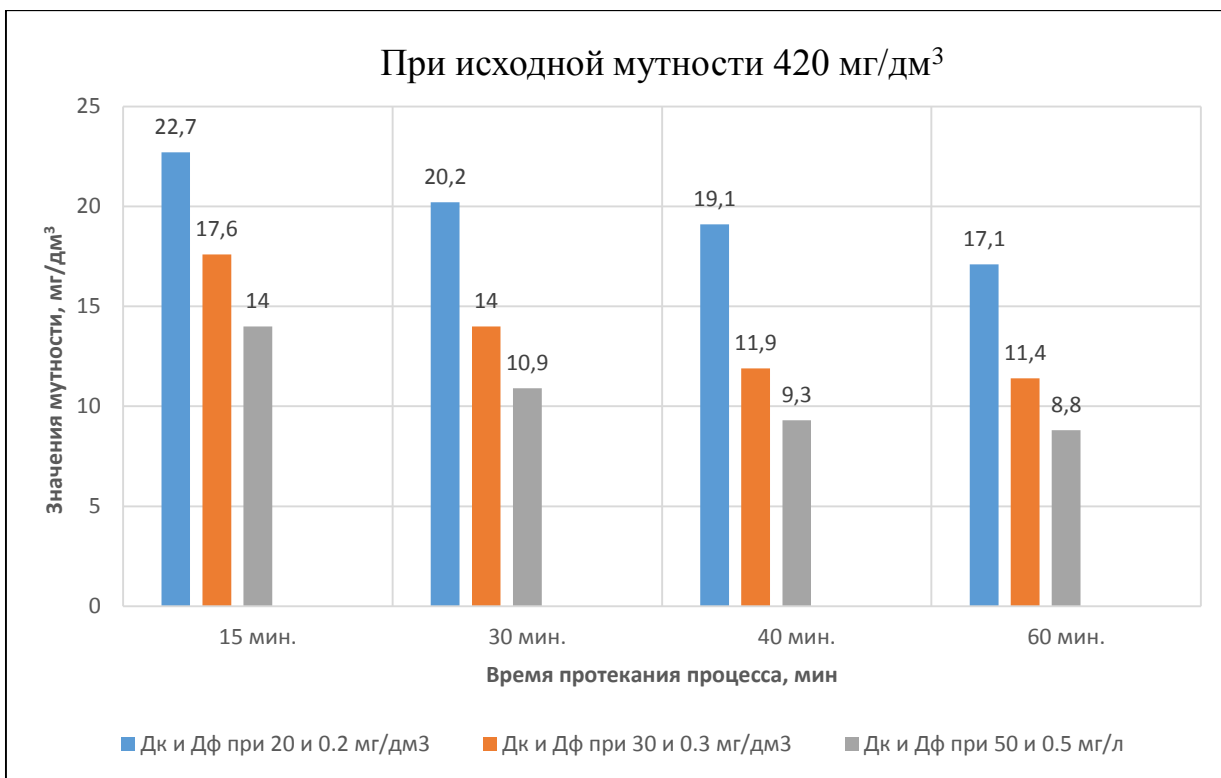
**Рисунок 3.8. - Влияние дозы смеси коагулянта и флокулянта на процесс осветления (после 60мин. осветления)**

Таким образом, по полученным результатам экспериментальных исследований можно рекомендовать совместное применение сернокислого алюминия с полимером POLY SEPAR AN 34 при предварительной обработке высокомутных поверхностных вод. При последовательном введении реагентов улучшается процесс седиментации, образуются плотные, крупные и быстро осаждаемые хлопья, чем при применении только одного коагулянта.

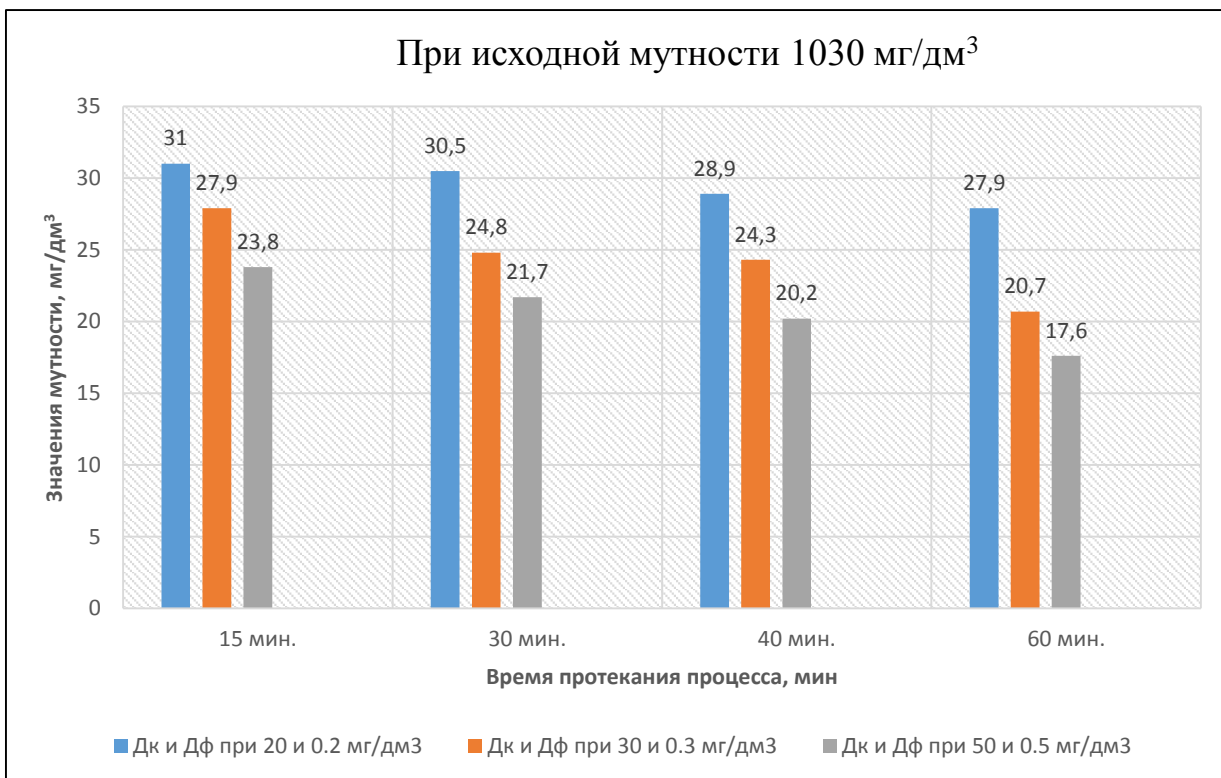
Анализ результатов лабораторных исследований совместного применения коагулянта СА и флокулянта Нитрофлок 215. По результатам наблюдений и данные экспериментов применения смеси коагулянта сульфата алюминия и флокулянта Нитрофлока методом пробной коагуляции, приведённые в таблице 2.4.1, построим диаграмму процесса осветления воды. На рисунках 3.9, 3.10, 3.11 и 3.12 приводим зависимости степени осветления воды от продолжительности и различных доз коагулянта и флокулянта Нитрофлока 215 при различных исходных значениях мутности.



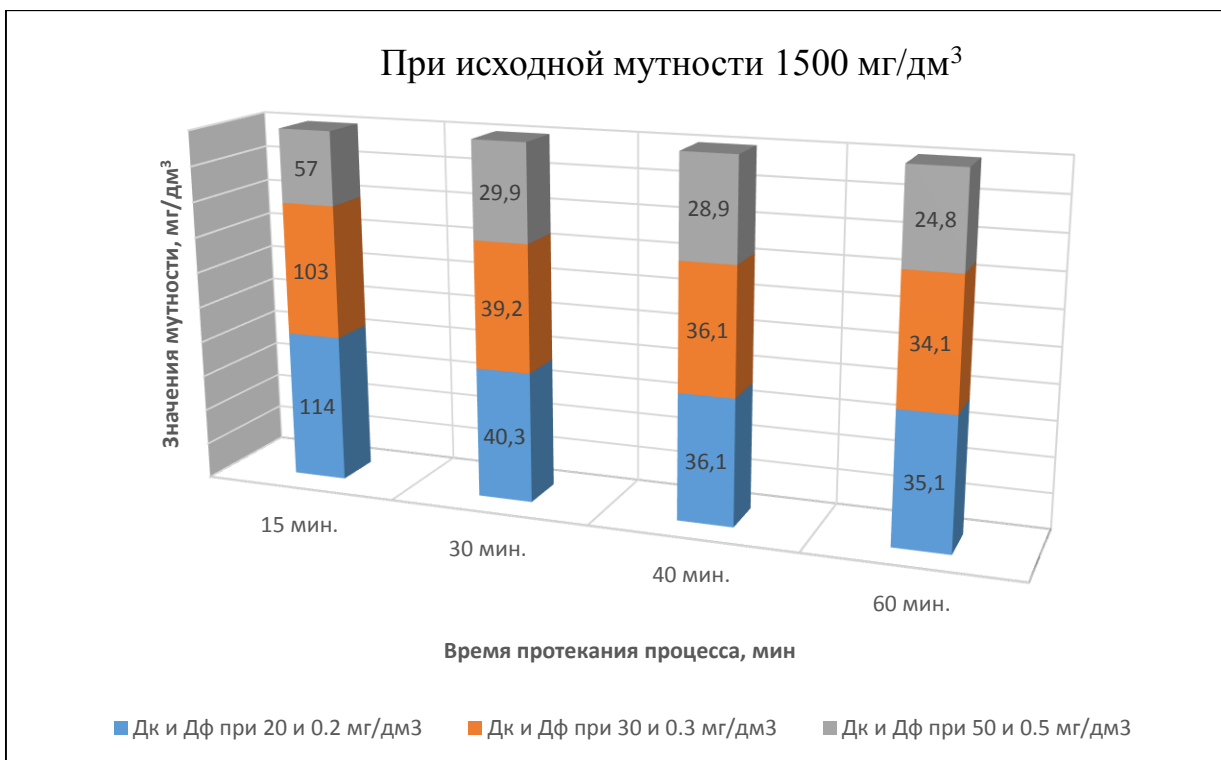
**Рисунок 3.9. - Результаты лабораторных испытаний по установлению зависимости степени водоочистки от времени и количества вводимых реагентов (исходная мутность - 238 мг/дм<sup>3</sup>)**



**Рисунок 3.10. - Результаты лабораторных испытаний по установлению зависимости степени водоочистки от времени и количества вводимых реагентов (исходная мутность - 420 мг/дм<sup>3</sup>)**

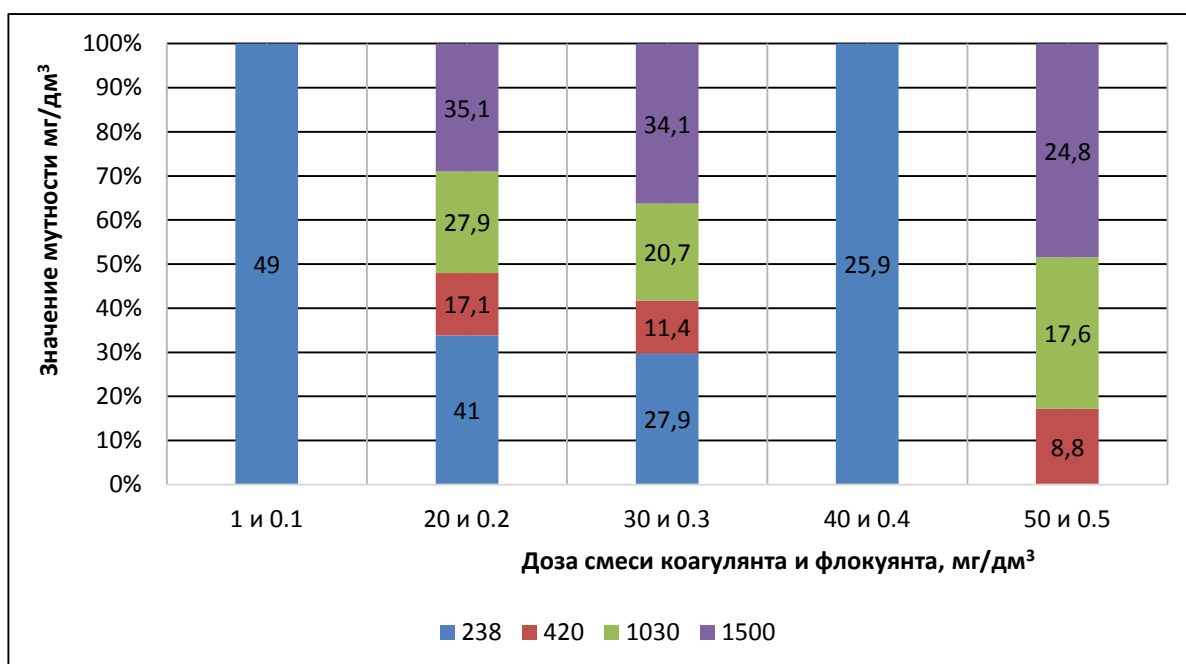


**Рисунок 3.11. - Результаты лабораторных испытаний по установлению зависимости степени водоочистки от времени и количества вводимых реагентов (исходная мутность - 1030 мг/дм<sup>3</sup>)**



**Рисунок 3.12. - Результаты лабораторных испытаний по установлению зависимости степени водоочистки от времени и количества вводимых реагентов (исходная мутность - 1500 мг/дм<sup>3</sup>)**

По экспериментальным данным определена оптимальная доза смеси флокулянта и коагулянта сульфата алюминия, равная  $D_k=20$ ,  $D_f=0,2$  мг/дм<sup>3</sup>.



**Рисунок 3.13. - Влияние дозы смеси коагулянта и флокулянта Нитрофлока 215 на процесс осветления (после 60 мин. осветления)**

По итогам проведенного исследования приходим к выводу, что в период паводковых сезонов применение коагулянта в сочетании с флокулянтом Нитрофлока 215 может оказаться перспективным направлением по сравнению с классической коагуляцией, о чем говорит глубина очистки.

### **3.2. Сопоставительный анализ результатов экспериментальных исследований**

Для выбора оптимального способа водоочистки необходимо сравнить эффективность данных пробного коагулирования, полученные в лабораторных условиях:

1. Коагулирование сульфатом алюминия;
2. Коагулирование сочетанием сульфата алюминия и флокулянта POLY SEPAR AN 34 TW;
3. Коагулирование сочетанием сульфата алюминия и флокулянта Нитрофлока 215.

#### **1. Коагулирование сульфатом алюминия**

Как показывают представленные данные экспериментальных испытаний пробного коагулирования и опыт очистных станций водоподготовки города Душанбе, при очистке поверхностных вод с высокими показателями мутности сульфат алюминий не показывает максимальную эффективность. При добавлении сульфата алюминия в исходной воде с высокими показателями мутности и низкой температурой также понижается ее щелочность, в результате чего вода трудно подается коагуляции и уменьшается степень осветления. При проведении пробной коагуляции с высокомутной водой в лабораторных условиях, после введения коагулянта сульфата алюминия в низких дозах наблюдалось мелкое образование частиц и их медленное осаждение.

Сернокислый алюминий  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  хорошо приводит к увеличению скорости осаждения хлопьев и флокул, однако с понижением темпера-

туры и повышения мутности исходной воды в осенне-весенний период, коллоиды, находящиеся в воде не вступают в химическую реакцию с коагулянтом, ухудшается процесс очистки и увеличивается нагрузка на фильтровальные сооружения. В результате этого качество очищенной воды не всегда отвечает требованиям норм, целесообразно изменить режим предварительной очистки воды [78].

### 2. Коагулирование сочетанием сульфата алюминия и флокулянта POLY SEPAR AN 34 TW

Для эффективной коагуляции и совершенствованию процесса предварительного осветления поверхностных вод дополнительно применяют флокулянты, которые позволяют снизить расход используемого реагента. Флокулянты используются для ускорения и интенсификации процесса коагуляции. Как видно по результатам эксперимента (табл. 3.2.3), дополнительное введение флокулянта POLY SEPAR AN 34 TW в небольших дозах с коагулянтом СА приводит к повышению эффективности водоочистки.

### 3. Коагулирование сочетанием сульфата алюминия и флокулянта Нитрофлока 215

По экспериментальным данным можно сделать вывод, что при коагуляции сульфатом алюминия высокомутных поверхностных вод уменьшается скорость осаждения коллоидно-дисперсных частиц. При традиционной обработке исходной воды необходимо поддерживать оптимальный уровень щелочной среды, малоэффективна при низких температурах.

Как заметно по экспериментальным данным, обработка воды реагентами, а именно сочетанием флокулянта Нитрофлока 215 и коагулянта сульфата алюминия уже при дозе  $D_k=20$  мг/дм<sup>3</sup> и  $D_f=0,2$  мг/дм<sup>3</sup> дает крупные хлопья, которые быстро выпадают в осадок.

Используя данные таблиц 2.4.1, 3.1.2 и 3.1.3 проведенных опытов определяем эффективность водоочистки по формуле:

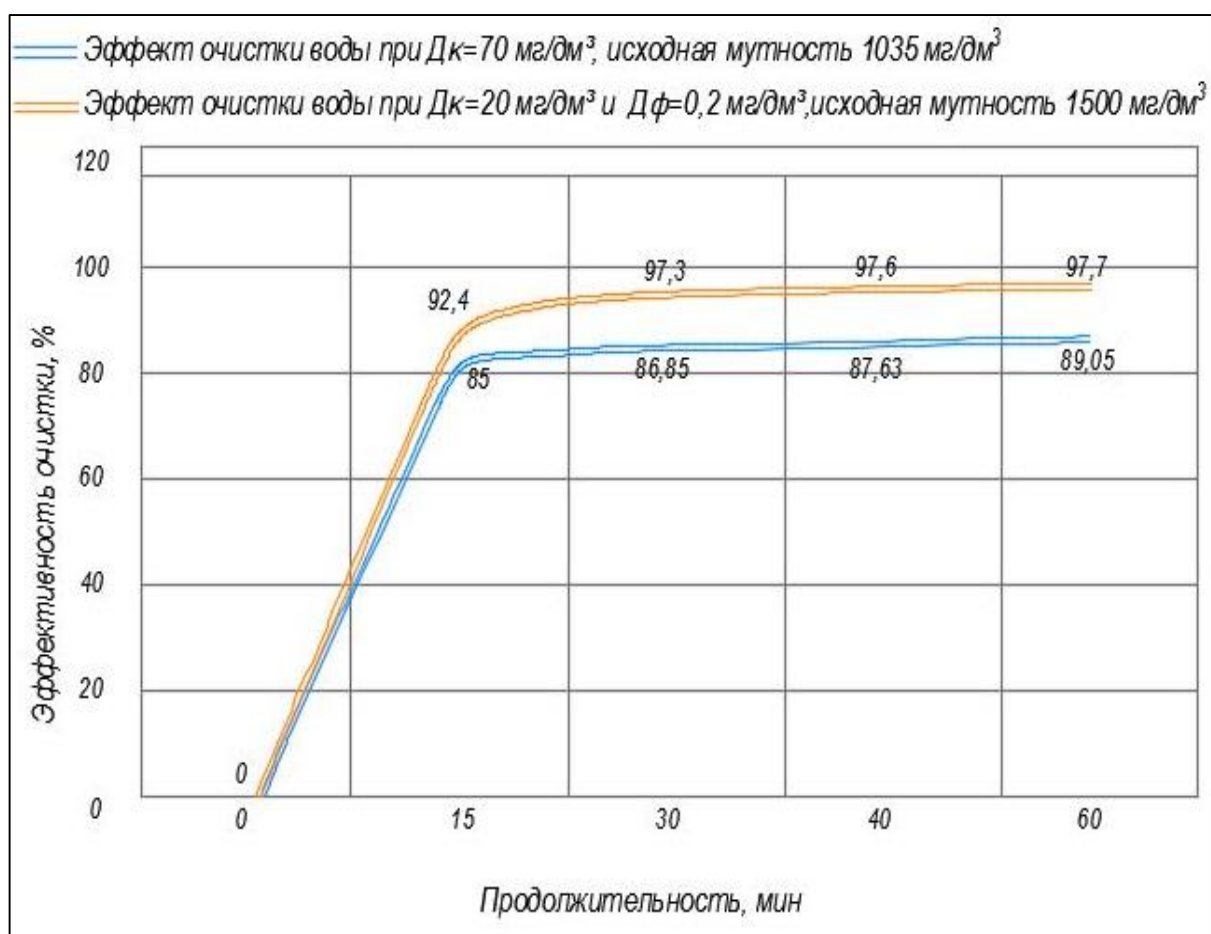


$$\mathcal{E}_{\text{осв.}} = \frac{C_0 - C_{\text{вых.}}}{C_0} \cdot 100\% \quad (3.3.1)$$

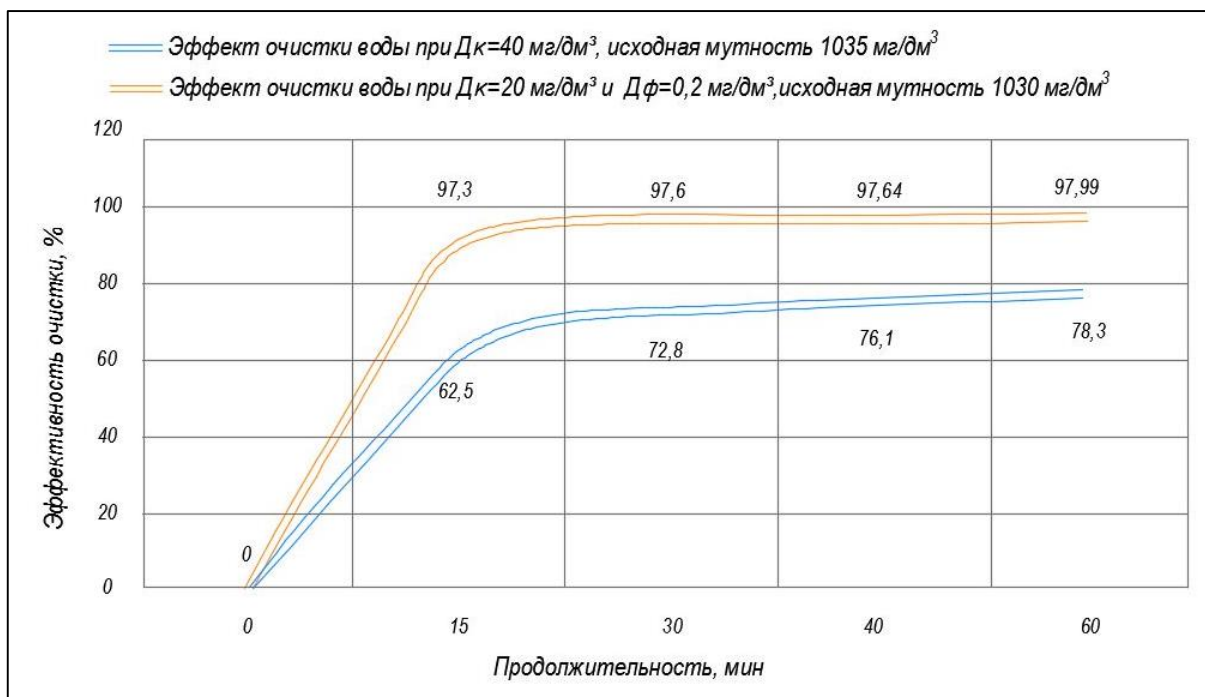
где  $C_0$  – исходная мутность, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{\text{вых.}}$  – мутность на выходе, мг/дм<sup>3</sup>.

Эффективность очистки пробной коагуляции представляем в виде графиков (рисунки 3.14 и 3.15) и оцениваем влияния типа флокулянта на водоподготовку:



**Рисунок 3.14 - Оценка эффективности влияния флокулянта Нитрофлок 215 на процесс водоочистки (исходная мутность-1500 мг/дм<sup>3</sup>)**



**Рисунок 3.15 – Оценка эффективности влияния флокулянта Нитрофлок 215 на процесс водоочистки (исходная мутность-1030 мг/дм³)**

Следует отметить, что при предварительной очистке поверхностных вод сульфатом алюминия необходимо поддерживать оптимальный уровень щелочной среды воды, так как уменьшается скорость осаждения коллоидно-дисперсных частиц.

При исследовании высокомутной речной воды нами экспериментально доказана эффективность применения флокулянта нитрофлок 215 совместно с коагулянтом сульфата алюминия на глубину водоочистки. Эффективность очистки почти 98% при  $D_k=20$  мг/дм³ и  $D_f=0,2$  мг/дм³, при этом все остальные показатели: рН, цветность, мутность, остаточный алюминий соответствуют нормативам.

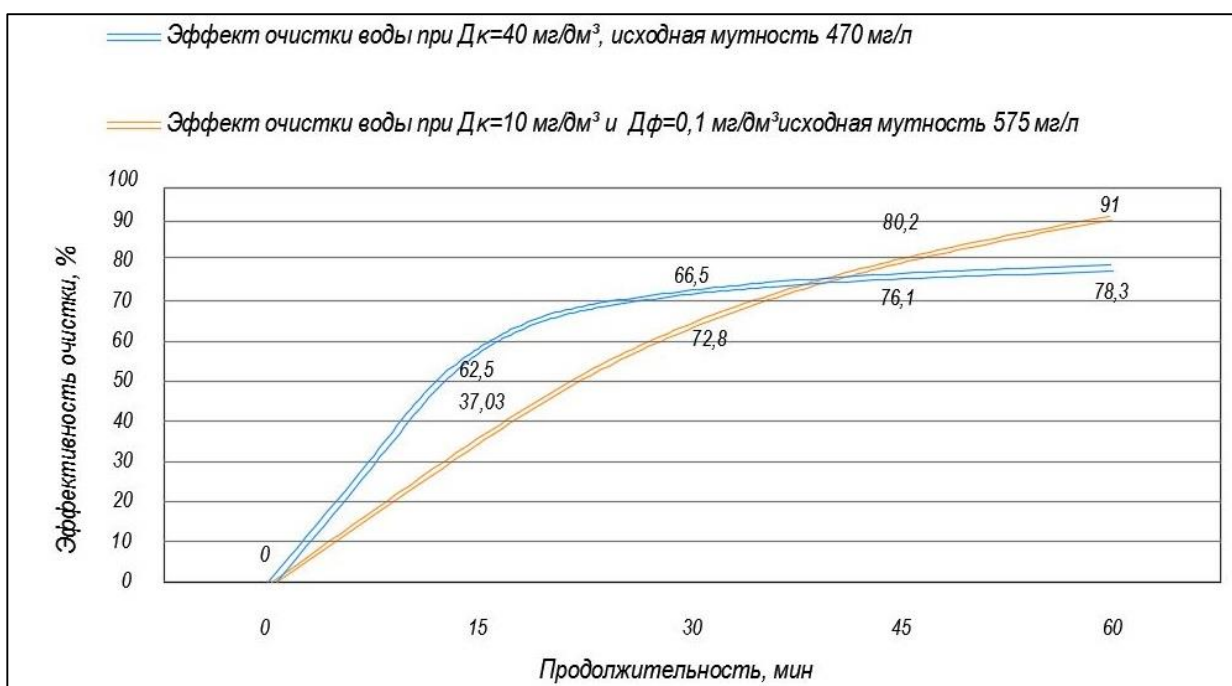
В основном загрязнение поверхностных вод происходит в осенне-весенний период, содержащие в них частицы различных размеров придают воде высокой мутности. Резкие колебания показателей качества воды приводят к затруднениям коагуляционной очистки, для достижения необходимой степени осветления потребуются большие дозы коагулянта СА, что приводит к увеличению остаточного алюминия в воде. С целью снижения эксплуата-

ционных затрат и интенсификации процесса хлопьеобразования предлагается совместное применение традиционного коагулянта и флокулянта в паводковых сезонах. Особым образом в этом есть необходимости при применении коагулянтов, имеющих более узкие пределы значений некоторых параметров процесса водоочистки и незначительную степень эффективности.

Эффективность очистки высокомутной воды традиционным коагулянтом достигается лишь при значительных дозах коагулянта, так как доза коагулянта в пределах 10-30 мг/дм<sup>3</sup> не дает требуемую степень очистки, а доза коагулянта больше 80 мг/дм<sup>3</sup> вводить уже невыгодно.

Анализ рисунков 3.14 и 3.15 показывает полноту протекания процесса коагуляции и эффективность водоочистки при небольших дозах коагулянта и флокулянтов. Во всех пробах, получившиеся значения мутности по окончании процесса осаждения оптимальны для дальнейшей обработки воды на фильтровальные сооружения.

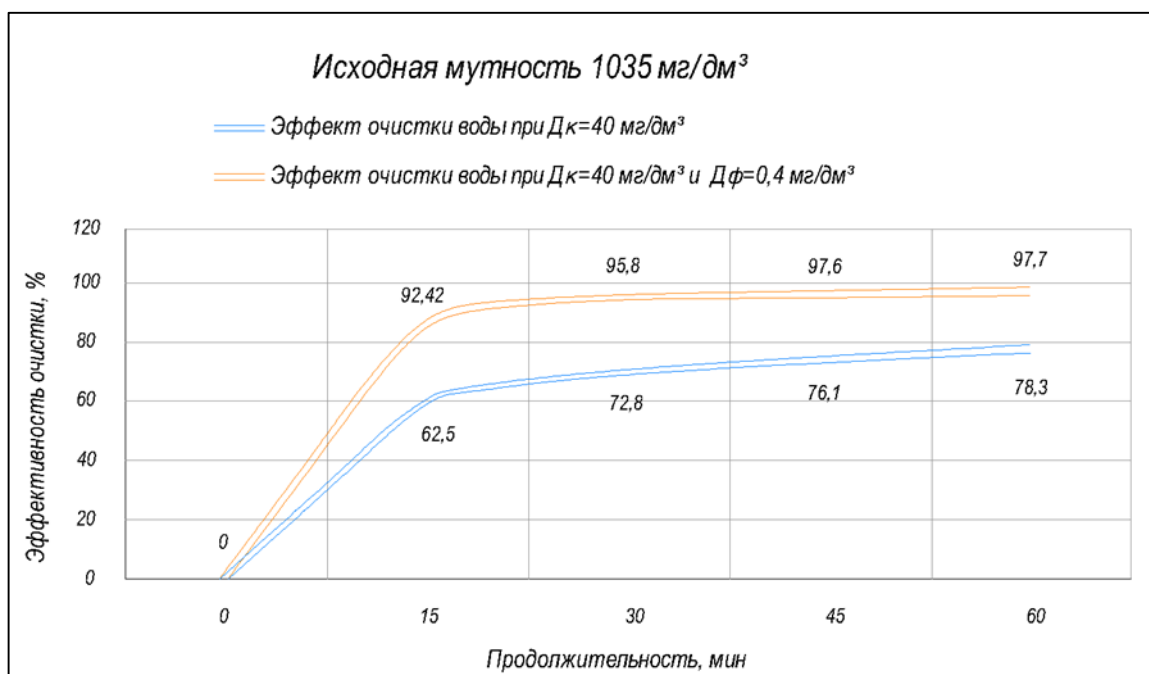
Сравниваем эффект осветления воды при применении традиционного коагулянта и в сочетании с современным флокулянтом POLY SEPAR AN 34 TW (рисунки 3.16 и 3.17)



**Рисунок 3.16. - Оценка эффективности влияния флокулянта POLY SEPAR AN 34 TW на процесс водоочистки (исходная мутность-575 мг/дм<sup>3</sup>)**

Следует отметить, что при предварительной очистке поверхностных вод сульфатом алюминия необходимо поддерживать оптимальный уровень щелочной среды воды, так как уменьшается скорость осаждения коллоидно-дисперсных частиц.

По результатам экспериментов пробного коагулирования применения флокулянта POLY SEPAR AN 34 TW совместно с коагулянтом СА видно, что уже при низких дозировках  $D_k=20$  мг/дм<sup>3</sup> и  $D_f=0,2$  мг/дм<sup>3</sup> повышается эффективность водоочистки. Флокулянт POLY SEPAR AN 34 TW показал хороший результат по снижению мутности.



**Рисунок 3.17. – Оценка эффективности влияния флокулянта POLY SEPAR AN 34 TW на процесс водоочистки (исходная мутность-1035 мг/дм<sup>3</sup>)**

В основном загрязнение поверхностных вод происходит в осенне-весенний период, содержащие в них частицы различных размеров придают воде высокой мутности. Резкие колебания показателей качества воды приводят к затруднениям коагуляционной очистки, для достижения необходимой степени осветления потребуются большие дозы коагулянта СА, что приводит к увеличению остаточного алюминия в воде. С целью снижения эксплуатационных затрат и интенсификации процесса хлопьеобразования предлагается совместное применение традиционного коагулянта и флокулянта в паводко-

вых сезонах. Особым образом в этом есть необходимости при применении коагулянтов, имеющих более узкие пределы значений некоторых параметров процесса водоочистки и незначительную степень эффективности.

Эффективность очистки высокомутной воды традиционным коагулянтом достигается лишь при значительных дозах коагулянта, так как доза коагулянта в пределах 10-30 мг/дм<sup>3</sup> не дает требуемую степень очистки, а доза коагулянта больше 80 мг/дм<sup>3</sup> вводить уже невыгодно.

Анализ рисунков 3.16 и 3.17 показывает полноту протекания процесса коагуляции и эффективность водоочистки при небольших дозах коагулянта и флокулянта. Во всех пробах, получившиеся значения мутности по окончании процесса осаждения оптимальны для дальнейшей обработки воды на фильтровальные сооружения.

Проанализировав полученные данные, можно сказать, что в сезонах паводка приемлемая эффективность очистки воды сульфатом алюминия достигается совместно с флокулянтами типа «POLY SEPAR AN 34 TW» и «Нитрофлок 215». Предлагаемый способ очистки имеет перспективное направление в совершенствование технологического процесса обработки воды.

### **Выводы по главе 3**

1. При проведении лабораторных исследований выяснилось, что эффективность очистки воды с помощью традиционного коагулянта достигает 85-89,05%, но увеличение дозировки коагулянта вызывает рост нормативных значений остаточного алюминия в воде.

2. В целом, эффективность работы очистных сооружений достигается путём использования быстродействующего полимера типа «POLY SEPAR AN 34 TW» и флокулянта Нитрофлока 215 в первой ступени очистки. При добавлении данных флокулянтов к воде, образуются крупные хлопья, которые быстро выпадают в осадок, что улучшает условия процесса седимента-

ции. Таким образом, достигается достаточно высокая эффективность и надёжность работы скорых песчаных фильтров.

3. Проанализировав полученные данные, можно сказать, что в сезонах паводка приемлемая эффективность очистки воды сульфатом алюминия достигается совместно с флокулянтами типа «POLY SEPAR AN 34 TW» и «Нитрофлок 215». Предлагаемый способ очистки имеет перспективное направление в совершенствовании существующей схемы технологического процесса обработки воды очистных станций.

4. По представленным графикам определения эффективности процесса коагуляции следует, что при правильном подборе дозы реагентов повышается степень седиментации частиц по сравнению с используемого в настоящее время технологического процесса подготовки питьевой воды. Также определена, что скорость осаждения взвешенных веществ при коагуляции с сульфатом алюминия с флокулянтами «POLY SEPAR AN 34 TW» и «Нитрофлок 215» не зависит от температуры очищаемой воды.

## ГЛАВА 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОСВЕТЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

### 4.1. Численные решения задач процесса предварительного осветления поверхностных вод

Применяя методов наименьших квадратов (МНК) производим модели процесса предварительного осветления поверхностных вод.

МНК — это метод в математике, используемый для решения различных задач, который имеет в своей основе минимизацию суммы квадратов в отступлении от определяемых переменных некоторых функций. Данный метод применяется для того, чтобы решать переопределенные системы уравнений, находить решения в отношении обычных (непереопределенных) нелинейных систем уравнений, а также для приближения точечных значений некоторой функции. В регрессионном анализе МНК представляет собой один из основных методов, способных произвести оценку по выборочным данным неизвестных параметров моделей регрессии [25, 63, 67].

Коагуляция сульфатом алюминия совместно с флокулянт «POLY SEPAR AN 34 TW» имеет перспективное направление в совершенствовании существующей схемы технологического процесса обработки воды очистных станций. В лаборатории контроля качества воды пробной коагуляцией нами проводились ряд экспериментов для целесообразности совместного использования сернокислого алюминия с флокулянт POLY SEPAR AN 34 TW для очистки высокомутных поверхностных вод, результаты проведенных испытаний в таблице 4.1.1.

**Таблица 4.1.1 - Эффективность водоочистки в зависимости от дозировки реагентов**

Исходная мутность, мг/дм <sup>3</sup>	Раствор коагулянта, мг/дм <sup>3</sup>	Раствор полимера, мг/дм <sup>3</sup>	Время исследования проб, мин		Масса осадения мутности, мг/дм <sup>3</sup>	Процент осадения мутности, %
			0	15		
187	10	0,1	187	117	70	37,4
	20	0,2	187	51,25	135,75	72,6
	30	0,3	187	31,62	155,38	83,1
	40	0,4	187	25,85	161,15	86,2
	50	0,5	187	14	173	92,5

«Продолжение табл. 4.1.1»

575	10	0,1	575	362,1	212,9	37
	20	0,2	575	157,6	417,4	72,6
	30	0,3	575	97,23	477,77	83,1
	40	0,4	575	43,6	531,4	92,4
	50	0,5	575	33,53	541,47	94,2
1035	10	0,1	1035	652	383	37
	20	0,2	1035	283,64	751,36	72,6
	30	0,3	1035	175,01	859,99	83,1
	40	0,4	1035	78,45	956,55	92,4
	50	0,5	1035	60,35	974,65	94,2
1715	10	0,1	1715	1080	635	37
	20	0,2	1715	470	1245	72,6
	30	0,3	1715	290	1425	83,1
	40	0,4	1715	130	1585	92,4
	50	0,5	1715	100	1615	94,2

В последнем столбце таблицы 4.1.1 указан эффективность реагентной очистки воды через 15 минут процесса осаждения. Предварительные данные экспериментов показывают, что с увеличением дозы реагентов снижается мутность воды. В случае, когда раствор коагулянта и раствор полимера 10 мг/дм<sup>3</sup> и 0,1 мг/дм<sup>3</sup>, то соответственно процентное осаждение массы осадка почти одинаково в остальных пробах, т.е.:

187-37,4%

575-37%

1035-37%

1715-37%

Во всех пробах с увеличением концентрации взаимодействующих растворов также увеличилась скорость опускания взвешенных веществ.

Процентное осаждение массы осадка при разных дозах коагулянта и полимера составляет:

- при дозе коагулянта 20 мг/дм<sup>3</sup> и дозы полимера 0,2 мг/дм<sup>3</sup>:

187-72,6%

575-72,6%

1035-72,6%

1715-72,6%



- при дозе коагулянта 30 мг/л и дозы полимера 0,3 мг/дм<sup>3</sup>:

187-83,1%

575-83,1%

1035-83,1%

1715-83,1%

- при дозе коагулянта 40 мг/л и дозы полимера 0,4 мг/дм<sup>3</sup>:

187-86,2%

575-92,4%

1035-92,4%

1715-92,4%

- при дозе коагулянта 50 мг/л и дозы полимера 0,5 мг/дм<sup>3</sup>:

187-92,5%

575-94,2%

1035-94,2%

1715-94,2%

Эти значения описывают изменение концентраций загрязнений после 15 минут отстаивания процесса седиментации.

В случае, когда концентрация растворов коагулянта и полимера 10 мг/дм<sup>3</sup> и 0,1 мг/дм<sup>3</sup> соответственно, корреляционная зависимость может быть представлено одной зависимостью, например, как показательная. Как следует из показателей, приведенных в табл. 4.2.1, при концентрации 20 мг/дм<sup>3</sup> и 0,2 мг/дм<sup>3</sup>, процент осаждения массы осадка составляет более 72%, при 30 мг/дм<sup>3</sup> и 0,3 мг/дм<sup>3</sup> более 80%, при 40 мг/дм<sup>3</sup> и 0,4 мг/дм<sup>3</sup> более 85% и при 50 мг/дм<sup>3</sup> и 0,5 мг/дм<sup>3</sup> более 90%.

При значении концентрации растворов от 20 мг/дм<sup>3</sup> и 0,2 мг/дм<sup>3</sup> и больше, корреляционную зависимость нельзя описывать одной функцией, так как в этом промежутке более 72% и для других концентраций более 85% осаждаются. Для этих концентраций используется метод сегментации.

Математическая постановка задач заключается в построении модели, которая полностью характеризует этот процесс. В нашем случае математическую модель построим методом наименьших квадратов (МНК) с учетом продолжительности процесса седиментации и концентрации растворов коагулянта и флокулянта. В регрессионном анализе МНК представляет собой один из основных методов, способных произвести оценку по выборочным данным неизвестных параметров моделей регрессии [63, 67].

На основании результатов лабораторных исследований (табл.4.1.1) создаём модель продолжительности процесса седиментации относительно объёма реагентов, введенного в воде: 10мг/дм<sup>3</sup> коагулянта; 0,1 мг/дм<sup>3</sup> полимера. Для расчета процесса данную зависимость будем искать в виде:

$$y = ae^{kx} \quad (4.1.1)$$

Результаты вычисления приведены в таблицу 4.1.2.

**Таблица 4.1.2 – Значения коэффициентов  $a$  и  $k$  при концентрации растворов 10мг/дм<sup>3</sup> и 0,1мг/дм<sup>3</sup>**

$i$	$x_i$	$\ln y_i$	$x_i^2$	$x_i \ln y_i$
1	0	5,2311	0	0
2	15	4,7621	225	71,4326
3	30	4,1271	900	123,8141
4	45	3,6109	2025	162,4913
5	60	2,9957	3600	179,7439
$\sum$	150	20,7271	6750	537,4819

где  $x_i$  - время исследования;

$y_i$  - мутность воды;

$k$  - коэффициент (размерность), обратный времени.

Решение системы уравнения имеет вид:

$$\begin{cases} k \sum x_i^2 + \ln a \sum x_i = \sum x_i \ln y \\ k \sum x_i + n \ln a = \sum \ln y_i \end{cases} \quad (4.1.2)$$

$$\begin{cases} 6750k + 150 \ln a = 537,4819 \\ 150k + 5 \ln a = 20,7271 \end{cases}$$

$$k = -0.0375 \quad a = 194,4$$

Подставляя значения параметров  $a$  и  $k$  в формулу (4.2.1), получим:

$$y = 194,4e^{-0,0375x} \quad (4.1.3)$$

В формулу (4.2.3) изменяя время осветления  $t$  от 15 до 60 минут, т.е., ( $t_1 = 15$  мин,  $t_2 = 30$  мин,  $t_3 = 45$  мин,  $t_4 = 60$  мин) при концентрации коагулянта – 10 мг/дм<sup>3</sup> и концентрации полимера - 0,1 мг/дм<sup>3</sup>, получим следующие значения мутности  $y$ :

$$y_1 = 194,4e^{-0,0375 \cdot 15} = 110,7658$$

$$y_2 = 194,4e^{-0,0375 \cdot 30} = 63,11244$$

$$y_3 = 194,4e^{-0,0375 \cdot 45} = 35,96038$$

$$y_4 = 194,4e^{-0,0375 \cdot 60} = 20,48961$$

Для концентрации растворов 20 мг/дм<sup>3</sup> и 0,2 мг/дм<sup>3</sup> зависимость мутности и времени будем искать через сумму двух функций

$$y_1 = \bar{a}e^{kx} \text{ и } y_2 = bx + c \quad (4.1.4)$$

где  $\bar{a}$  - корректируется в ходе вычисления.

Первая функция является показательной, вторая линейной. Для первой функции используем промежуток  $[0;15]$ , а для второй промежуток  $[15;60]$ .

Общая зависимость будет иметь вид:

$$y = y_1 + y_2 \quad (4.1.5)$$

Результаты вычисления при концентрации растворов 20 мг/дм<sup>3</sup> и 0,2 мг/дм<sup>3</sup> представлены в таблице 4.1.3.

**Таблица 4.1.3 – Вычисления коэффициентов  $a$  и  $k$  при концентрации растворов 20 мг/дм<sup>3</sup> и 0,2 мг/дм<sup>3</sup>**

$i$	$x_i$	$y_i$	$x_i^2$	$x_i y_i$
1	15	51,25	225	768,75
2	30	42,52	900	1275,6
3	45	21,81	2025	981,45
4	60	15,9	3600	954
$\Sigma$	150	131,48	6750	3979,8

$$\begin{cases} \bar{a}e^{0\bar{k}} = 187 & \bar{a} = 187 \\ \bar{a}e^{15\bar{k}} = 51,25 & \bar{k} = -0,070 \end{cases}$$

$$y_1 = 187e^{-0,070x} \quad (4.1.6)$$

Решение системы уравнения:

$$\begin{cases} b \sum x_i^2 + c \sum x_i = \sum x_i y_i \\ b \sum x_i + cn = \sum y_i \end{cases}$$

$$\begin{cases} 6750b + 150c = 3979,8 & b = -0,845 \\ 150b + 4c = 131,48 & c = 65 \end{cases}$$

$$a = \bar{a} - c = 187 - 65 = 122$$

$$k = 2\bar{k} = 2 \cdot (-0,07) = -0,14$$

$$y = 122e^{-0,14x} - 0,845x + 65 \quad (4.1.7)$$

Подставляя в формулу (4.1.7) различные значения времени осветления ( $t_1 = 15 \text{ мин}$ ,  $t_2 = 30 \text{ мин}$ ,  $t_3 = 45 \text{ мин}$ ,  $t_4 = 60 \text{ мин}$ ) при концентрации коагулянта – 20 мг/дм<sup>3</sup> и концентрации полимера - 0,2 мг/дм<sup>3</sup>, получим следующие значения мутности  $y$ :

$$y_1 = 122e^{-0,14 \cdot 15} - 0,845 \cdot 15 + 65 = 67,26468$$

$$y_2 = 122e^{-0,14 \cdot 30} - 0,845 \cdot 30 + 65 = 41,47946$$

$$y_3 = 122e^{-0,14 \cdot 45} - 0,845 \cdot 45 + 65 = 27,19903$$

$$y_4 = 122e^{-0,14 \cdot 60} - 0,845 \cdot 60 + 65 = 27,19903$$

При концентрации растворов коагулянта – 30 мг/дм<sup>3</sup> и флокулянта - 0,3 мг/дм<sup>3</sup> зависимость мутности и времени будет иметь вид:

$$\begin{cases} \bar{a}e^{0,\bar{k}} = 187 & \bar{a} = 187 \\ \bar{a}e^{15\bar{k}} = 31,62 & \bar{k} = -0,1085 \end{cases}$$

Полученные результаты приведены в табл.4.1.4.

**Таблица 4.1.4 – Вычисления коэффициентов  $a$  и  $k$  при концентрации растворов 30 мг/дм<sup>3</sup> и 0,3 мг/дм<sup>3</sup>**

$i$	$x_i$	$x_i^2$	$y_i$	$x_i y_i$
1	15	225	31,62	474,3
2	30	900	25,1	753
3	45	2025	19,63	883,35
4	60	3600	15	900
$\Sigma$	150	6750	91,35	3010,65

Далее производим вычисления:

$$\begin{cases} 6750b + 150c = 3010,65 & b = -0,37 \\ 150b + 4c = 91,35 & c = 37 \end{cases}$$

$$a = \bar{a} - c = 187 - 37 = 150$$

$$k = 2\bar{k} = -0,2$$

$$y = 150e^{-0,2x} - 0,37x + 37 \quad (4.1.8)$$

Подставляя в формулу (4.2.8) различные значения времени осветления ( $t_1 = 15$ мин,  $t_2 = 30$ мин,  $t_3 = 45$ мин,  $t_4 = 60$ мин) при концентрации коагулянта - 30 мг/дм<sup>3</sup> и концентрации полимера - 0,3 мг/дм<sup>3</sup>, получим следующие значения мутности  $y$  :

$$y_1 = 150e^{-0,2 \cdot 15} - 0,37 \cdot 15 + 37 = 38,91806$$

$$y_2 = 150e^{-0,2 \cdot 30} - 0,37 \cdot 30 + 37 = 26,27181$$

$$y_3 = 150e^{-0,2 \cdot 45} - 0,37 \cdot 45 + 37 = 20,36851$$

$$y_4 = 150e^{-0,2 \cdot 60} - 0,37 \cdot 60 + 37 = 14,80092$$

Для концентрации растворов коагулянта – 40 мг/дм<sup>3</sup> и флокулянта - 0,4мг/дм<sup>3</sup> зависимость мутности и времени будет равна:

$$\begin{cases} \bar{ae}^{0,\bar{k}} = 187 & \bar{a} = 187 \\ \bar{ae}^{15\bar{k}} = 25,85 & \bar{k} = -0,1319 \end{cases}$$

Полученные результаты для концентрации растворов 40 мг/дм<sup>3</sup> и 0,4 мг/дм<sup>3</sup> представлены в табл.4.1.5.

**Таблица 4.1.5 – Вычисления коэффициентов  $a$  и  $k$  при концентрации растворов 40 мг/дм<sup>3</sup> и 0,4 мг/дм<sup>3</sup>**

$i$	$x_i$	$x_i^2$	$y_i$	$x_i y_i$
1	15	225	25,85	387,75
2	30	900	17,18	515,4
3	45	2025	14,5	652,5
4	60	3600	14,5	870
$\sum$	150	6750	72,03	2425,65

В такой же последовательности определяем значение коэффициентов  $a$  и  $k$  для концентрации растворов 40 мг/дм<sup>3</sup> и 0,4 мг/дм<sup>3</sup>.

Решение системы уравнения:

$$\begin{cases} 6750b + 150c = 2425,65 & b = -0,245 \\ 150b + 4c = 72,03 & c = 28 \end{cases}$$

$$a = \bar{a} - c = 187 - 28 = 159$$

$$k = 2\bar{k} = 2 \cdot (-0,1319) = -0,25$$

$$y = 150e^{-0,25x} - 0,245x + 28 \quad (4.1.9)$$

Подставляя в формулу (4.1.9) различные значения времени осветления ( $t_1 = 15$  мин,  $t_2 = 30$  мин,  $t_3 = 45$  мин,  $t_4 = 60$  мин) при концентрации коагулянта – 40 мг/дм<sup>3</sup> и концентрации полимера - 0,4 мг/дм<sup>3</sup>, получим следующие значения мутности  $y$ :

$$y_1 = 150e^{-0,25 \cdot 15} - 0,245 \cdot 15 + 28 = 28,06432$$

$$y_2 = 150e^{-0,25*30} - 0,245 * 30 + 28 = 20,73794$$

$$y_3 = 150e^{-0,25*45} - 0,245 * 45 + 28 = 16,97707$$

$$y_4 = 150e^{-0,25*60} - 0,245 * 60 + 28 = 13,30005$$

И, наконец, определяем для последней концентрации растворов коагулянта – 50 мг/дм<sup>3</sup> и флокулянта - 0,5 мг/дм<sup>3</sup>. Эта зависимость имеет вид:

$$\begin{cases} \bar{a}e^{0,\bar{k}} = 187 & \bar{a} = 187 \\ \bar{a}e^{15\bar{k}} = 14 & \bar{k} = -0,1732 \end{cases}$$

Полученные результаты для этих концентраций растворов сведены в табл.4.1.6.

**Таблица 4.1.6 – Вычисления коэффициентов  $a$  и  $k$  при концентрации растворов 50 мг/дм<sup>3</sup> и 0,5 мг/дм<sup>3</sup>**

$i$	$x_i$	$y_i$	$x_i^2$	$x_i y_i$
1	15	14	225	210
2	30	12,4	900	372
3	45	12,4	2025	558
4	60	12,4	3600	744
$\Sigma$	150	51,2	6750	1884

Решение системы алгебраических уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} 6750b + 150c = 1884 & b = -0,032 \\ 150b + 4c = 51,2 & c = 14 \end{cases}$$

$$a = \bar{a} - c = 187 - 14 = 173$$

$$k = 2\bar{k} = 2 * (-0,1732) = -0,35$$

$$y = 173e^{-0,35x} - 0,032x + 14 \quad (4.1.10)$$

Подставляя в формулу (4.1.10) различные значения времени осветления ( $t_1 = 15\text{мин}$ ,  $t_2 = 30\text{мин}$ ,  $t_3 = 45\text{мин}$ ,  $t_4 = 60\text{мин}$ ) при концентрации коагулянта –  $50\text{ мг/дм}^3$  и концентрации полимера -  $0,5\text{ мг/дм}^3$ , получим следующие значения мутности  $y$  :

$$y_1 = 173e^{-0,35*15} - 0,032 * 15 + 14 = 14,42782$$

$$y_2 = 173e^{-0,35*30} - 0,032 * 30 + 14 = 13,04476$$

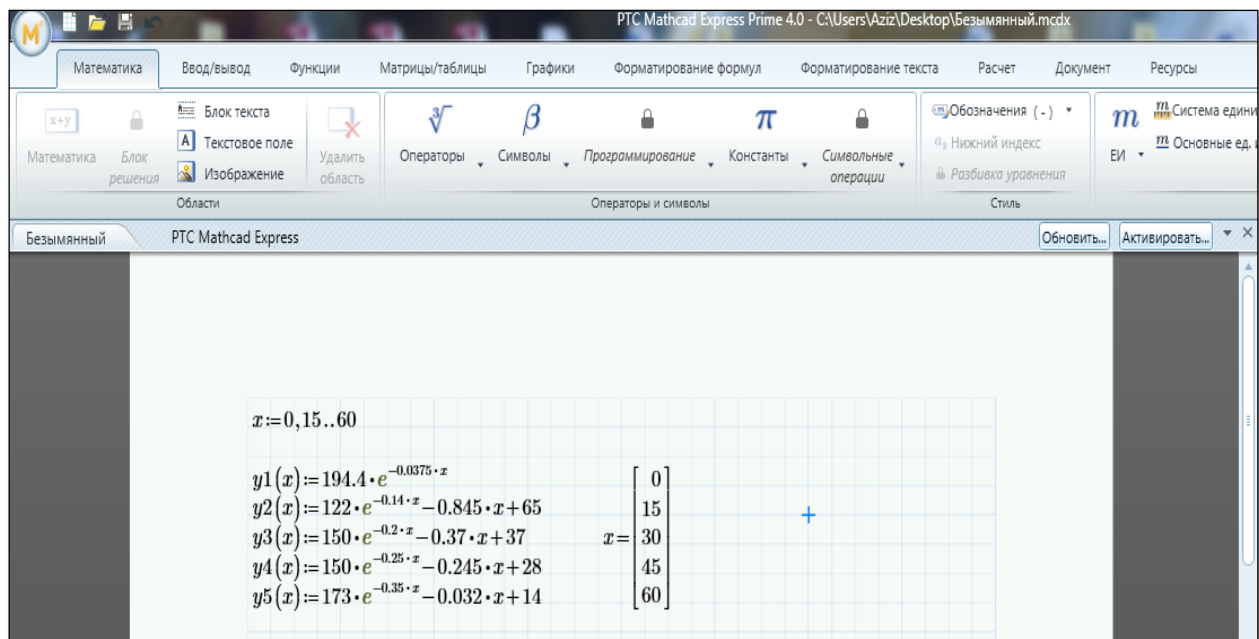
$$y_3 = 173e^{-0,35*45} - 0,032 * 45 + 14 = 12,56002$$

$$y_4 = 173e^{-0,35*60} - 0,032 * 60 + 14 = 12,08$$

В результате сопоставительного анализа результатов экспериментов с результатами численного моделирования выяснилось, что погрешность составляет не более 5%. Это даст основание считать, что результаты проведенных экспериментов являются достоверными.

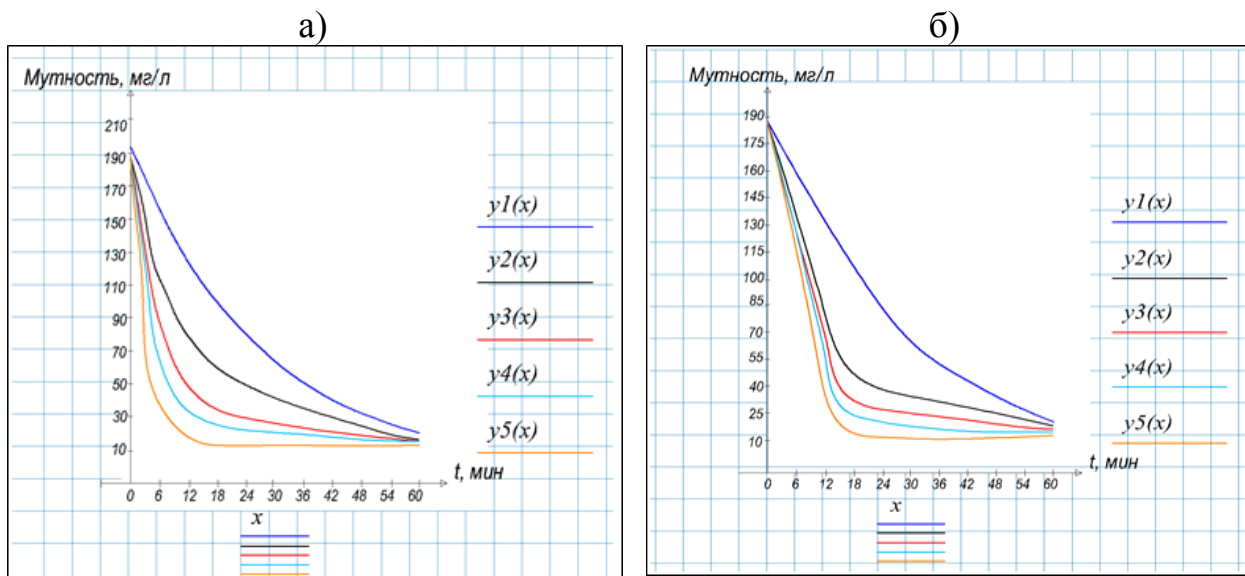
С использованием программы РТС Mathcad Prime 4.0, что представляет собой мощное, наглядное и удобное средство для представления алгоритмов решения математических задач, направляющих на подготовку документов, создаваемых в интерактивном режиме с визуальным сопровождением и вычислениями, обработали полученные данные экспериментов и численного моделирования. Интерфейс программы с введенными данными показаны на рисунке 4.1.





**Рисунок 4.1. - Программная система PTC Mathcad Prime 4.0**

На рисунке 4.2. представлена динамика процесса осветления воды, характеризующая степень осаждения частиц в зависимости от времени осаждения и концентрации растворов коагулянта и флокулянта (исходная мутность воды – 187 мг/дм<sup>3</sup>).



*а) численное моделирование;*

*б) экспериментальное исследование*

**Рисунок 4.2. - Зависимость процесса осветления воды от дозы реагентов и времени осаждения (исходная мутность воды – 187 мг/л)**

Для нахождения математической модели эксперимента используются такие методы как МНК, интерполяционные многочлены, экстраполяционные формулы и т.д. В нашем случае, для выяснения влияния предварительной обработки воды с применением сочетания сульфата алюминия и катионного флокулянта нитрофлока 215 находим модель с помощью интерполяционной формулы. Наш эксперимент с проведением коагулянта сульфата алюминия и флокулянта нитрофлок 215 состоит из пяти измерений по времени и мутности воды. Суть интерполяционной формулы состоит в том, что процесс представляется в виде многочлена положительными показателями. Результаты исследования представлены в таблице 4.1.7.

**Таблица 4.1.7 - Влияние дозы реагентов и времени на процесс осветления воды**

Исходная мутность, мг/дм <sup>3</sup>	Раствор коагулянта, мг/дм <sup>3</sup>	Раствор флокулянта нитрофлока 215, мг/дм <sup>3</sup>	Время исследования проб, мин				
			0	15	30	40	60
238	1	0,1	238	78	57	52	49,0
	2	0,2	238	72	57	52	41
	3	0,3	238	62	44	39	27,9
	4	0,4	238	57	39	31	25,9
420	20	0,2	420	22,7	20,2	19,1	17,1
	30	0,3	420	17,6	14,0	11,9	11,4
	50	0,5	420	14,0	10,9	9,3	8,8
1030	20	0,2	1030	27,9	24,8	24,3	20,7
	30	0,3	1030	31	30,5	28,9	27,9
	50	0,5	1030	23,8	21,7	20,2	17,6
1500	20	0,2	1500	114	40,3	36,1	35,1
	30	0,3	1500	103	39,2	36,1	34,1
	50	0,5	1500	57	29,9	28,9	24,8

Поскольку эксперимент состоит с учётом начального состояния из пяти значений, зависимость осадки масса грязи воды от времени будем искать в виде полинома, то есть многочленом четвёртой степени:

$$m(t) = at^4 + bt^3 + ct^2 + dt + e \quad (4.1.11)$$

где  $m$  - масса грязи мутности

$t$  – время осадки

Определим коэффициенты  $a, b, c, d$ , и  $e$  используя значения таблицы проведенных экспериментов для концентрации коагулянта –  $1 \text{ мг/дм}^3$  - и флокулянта -  $0,1 \text{ мг/дм}^3$ .

$$\begin{cases} a \cdot 0^4 + b \cdot 0^3 + c \cdot 0^2 + d \cdot 0 + e = 238 \\ a \cdot 15^4 + b \cdot 15^3 + c \cdot 15^2 + d \cdot 15 + e = 78 \\ a \cdot 30^4 + b \cdot 30^3 + c \cdot 30^2 + d \cdot 30 + e = 57 \\ a \cdot 40^4 + b \cdot 40^3 + c \cdot 40^2 + d \cdot 40 + e = 52 \\ a \cdot 60^4 + b \cdot 60^3 + c \cdot 60^2 + d \cdot 60 + e = 49 \end{cases} \quad (4.1.12)$$

Отсюда  $e = 238$ , и подставляя в систему уравнения (4.1.12) упрощаем её:

$$\begin{cases} 15 \cdot (15^3 a + 15^2 b + 15c + d) = -160 \\ 30 \cdot (30^3 a + 30^2 b + 30c + d) = -181 \\ 40 \cdot (40^3 a + 40^2 b + 40c + d) = -186 \\ 60 \cdot (60^3 a + 60^2 b + 60c + d) = -189 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 3375a + 225b + 15c + d = -10,6667 \\ 27000a + 900b + 30c + d = -6,0333 \\ 64000a + 1600b + 40c + d = -4,65 \\ 216000a + 3600b + 60c + d = -3,15 \end{cases}$$

Для определения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  решаем систему методом Крамера:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 3375 & 225 & 15 & 1 \\ 27000 & 900 & 30 & 1 \\ 64000 & 1600 & 40 & 1 \\ 216000 & 3600 & 60 & 1 \end{vmatrix} = 101 \quad 250 \quad 000$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} -10,6667 & 225 & 15 & 1 \\ -6,0333 & 900 & 30 & 1 \\ -4,65 & 1600 & 40 & 1 \\ -3,15 & 3600 & 60 & 1 \end{vmatrix} = 10 \quad 600$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3375 & -10,6667 & 15 & 1 \\ 27000 & -6,0333 & 30 & 1 \\ 64000 & -4,65 & 40 & 1 \\ 216000 & -3,15 & 60 & 1 \end{vmatrix} = -1 \quad 591 \quad 650$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 3375 & 225 & -10,6667 & 1 \\ 27000 & 900 & -6,0333 & 1 \\ 64000 & 1600 & -4,65 & 1 \\ 216000 & 3600 & -3,15 & 1 \end{vmatrix} = 86 \quad 204 \quad 250$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 3375 & 225 & 15 & -10,6667 \\ 27000 & 900 & 30 & -6,0333 \\ 64000 & 1600 & 40 & -4,65 \\ 216000 & 3600 & 60 & -3,15 \end{vmatrix} = -2 \quad 050 \quad 758 \quad 000$$

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{10 \quad 600}{101 \quad 250 \quad 000} = 1,0469 \cdot 10^{-4}$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{1 \quad 591 \quad 650}{101 \quad 250 \quad 000} = -0,01572$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{86 \quad 204 \quad 250}{101 \quad 250 \quad 000} = 0,8514$$

$$d = \frac{\Delta_4}{\Delta} = \frac{2 \quad 050 \quad 758 \quad 000}{101 \quad 250 \quad 000} = -20,2544$$

$$m(t) = 238 - 20,2544t + 0,8514 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^2 - 15,72 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^3 + 1,0469 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^4$$

Находим зависимость осадки от времени для концентрации коагулянта – 2мг/дм<sup>3</sup> - и флокулянта - 0,2 мг/дм<sup>3</sup>.

$$\begin{cases} a \cdot 0^4 + b \cdot 0^3 + c \cdot 0^2 + d \cdot 0 + e = 238 \\ a \cdot 15^4 + b \cdot 15^3 + c \cdot 15^2 + d \cdot 15 + e = 72 \\ a \cdot 30^4 + b \cdot 30^3 + c \cdot 30^2 + d \cdot 30 + e = 57 \\ a \cdot 40^4 + b \cdot 40^3 + c \cdot 40^2 + d \cdot 40 + e = 52 \\ a \cdot 60^4 + b \cdot 60^3 + c \cdot 60^2 + d \cdot 60 + e = 41 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 15 \cdot (15^3 a + 15^2 b + 15c + d) = -166 \\ 30 \cdot (30^3 a + 30^2 b + 30c + d) = -181 \\ 40 \cdot (40^3 a + 40^2 b + 40c + d) = -186 \\ 60 \cdot (60^3 a + 60^2 b + 60c + d) = -197 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 3375a + 225b + 15c + d = -11,0667 \\ 27000a + 900b + 30c + d = -6,0333 \\ 64000a + 1600b + 40c + d = -4,65 \\ 216000a + 3600b + 60c + d = -3,2833 \end{cases}$$

$$\Delta = 101 \quad 250 \quad 000$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} -11,0667 & 225 & 15 & 1 \\ -6,0333 & 900 & 30 & 1 \\ -4,65 & 1600 & 40 & 1 \\ -3,2833 & 3600 & 60 & 1 \end{vmatrix} = 12 \quad 500,9$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3375 & -11,0667 & 15 & 1 \\ 27000 & -6,0333 & 30 & 1 \\ 64000 & -4,65 & 40 & 1 \\ 216000 & -3,2833 & 60 & 1 \end{vmatrix} = -1 \quad 861 \quad 373$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 3375 & 225 & -11,0667 & 1 \\ 27000 & 900 & -6,0333 & 1 \\ 64000 & 1600 & -4,65 & 1 \\ 216000 & 3600 & -3,2833 & 1 \end{vmatrix} = 98 \quad 048 \quad 036$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 3375 & 225 & 15 & -11,0667 \\ 27000 & 900 & 30 & -6,0333 \\ 64000 & 1600 & 40 & -4,65 \\ 216000 & 3600 & 60 & -3,2833 \end{vmatrix} = -2 \quad 214 \quad 081 \quad 000$$

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{12 \ 500,9}{101 \ 250 \ 000} = 1,2346 \cdot 10^{-4}$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{1 \ 861 \ 373}{101 \ 250 \ 000} = -18,3839 \cdot 10^{-3}$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{98 \ 048 \ 036}{101 \ 250 \ 000} = 96,8376 \cdot 10^{-2}$$

$$d = \frac{\Delta_4}{\Delta} = \frac{2 \ 214 \ 081 \ 000}{101 \ 250 \ 000} = -21,86$$

$$m(t) = 238 - 21,86t + 96,8376 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^2 - 18,3839 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^3 + 1,2346 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^4$$

Находим зависимость осадки от времени для концентрации коагулянта – 3 мг/дм<sup>3</sup> - и флокулянта - 0,3 мг/дм<sup>3</sup>.

$$\begin{cases} a \cdot 0^4 + b \cdot 0^3 + c \cdot 0^2 + d \cdot 0 + e = 238 \\ a \cdot 15^4 + b \cdot 15^3 + c \cdot 15^2 + d \cdot 15 + e = 62 \\ a \cdot 30^4 + b \cdot 30^3 + c \cdot 30^2 + d \cdot 30 + e = 44 \\ a \cdot 40^4 + b \cdot 40^3 + c \cdot 40^2 + d \cdot 40 + e = 39 \\ a \cdot 60^4 + b \cdot 60^3 + c \cdot 60^2 + d \cdot 60 + e = 27,9 \end{cases}$$

$$e = 238$$

$$\begin{cases} 3375a + 225b + 15c + d = -11,7333 \\ 27000a + 900b + 30c + d = -6,4667 \\ 64000a + 1600b + 40c + d = -4,975 \\ 216000a + 3600b + 60c + d = -3,5017 \end{cases}$$

$$\Delta = 101 \ 250 \ 000$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} -11,7333 & 225 & 15 & 1 \\ -6,4667 & 900 & 30 & 1 \\ -4,975 & 1600 & 40 & 1 \\ -3,017 & 3600 & 60 & 1 \end{vmatrix} = 12 \ 511,605$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3375 & -11,7333 & 15 & 1 \\ 27000 & -6,4667 & 30 & 1 \\ 64000 & -4,975 & 40 & 1 \\ 216000 & -3,5017 & 60 & 1 \end{vmatrix} = -1 \ 881 \ 314,625$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 3375 & 225 & -11,7333 & 1 \\ 27000 & 900 & -6,4667 & 1 \\ 64000 & 1600 & -4,975 & 1 \\ 216000 & 3600 & -3,5017 & 1 \end{vmatrix} = 100 \quad 503 \quad 213,8$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 3375 & 225 & 15 & -11,7333 \\ 27000 & 900 & 30 & -6,4667 \\ 64000 & 1600 & 40 & -4,975 \\ 216000 & 3600 & 60 & -3,5017 \end{vmatrix} = -2 \quad 314 \quad 468 \quad 750$$

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{12 \quad 511,605}{101 \quad 250 \quad 000} = 1,2357 \cdot 10^{-4}$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{1 \quad 881 \quad 314,625}{101 \quad 250 \quad 000} = -18,5809 \cdot 10^{-3}$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{100 \quad 503 \quad 213,8}{101 \quad 250 \quad 000} = 99,2624 \cdot 10^{-2}$$

$$d = \frac{\Delta_4}{\Delta} = \frac{2 \quad 314 \quad 468 \quad 750}{101 \quad 250 \quad 000} = -22,8589$$

$$m(t) = 238 - 22,8589t + 99,2624 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^2 - 18,5809 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^3 + 1,2357 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^4$$

Находим зависимость осадки от времени для концентрации коагулянта - 4мг/дм<sup>3</sup> - и флокулянта - 0,4 мг/дм<sup>3</sup>.

$$\begin{cases} a \cdot 0^4 + b \cdot 0^3 + c \cdot 0^2 + d \cdot 0 + e = 238 \\ a \cdot 15^4 + b \cdot 15^3 + c \cdot 15^2 + d \cdot 15 + e = 57 \\ a \cdot 30^4 + b \cdot 30^3 + c \cdot 30^2 + d \cdot 30 + e = 39 \\ a \cdot 40^4 + b \cdot 40^3 + c \cdot 40^2 + d \cdot 40 + e = 31 \\ a \cdot 60^4 + b \cdot 60^3 + c \cdot 60^2 + d \cdot 60 + e = 25,9 \end{cases}$$

$$e = 238$$

$$\begin{cases} 3375a + 225b + 15c + d = -12,0667 \\ 27000a + 900b + 30c + d = -6,6333 \\ 64000a + 1600b + 40c + d = -5,175 \\ 216000a + 3600b + 60c + d = -3,535 \end{cases}$$

$$\Delta = 101 \quad 250 \quad 000$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} -12,0667 & 225 & 15 & 1 \\ -6,6333 & 900 & 30 & 1 \\ -5,175 & 1600 & 40 & 1 \\ -3,535 & 3600 & 60 & 1 \end{vmatrix} = 14 \quad 688,45$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3375 & -12,0667 & 15 & 1 \\ 27000 & -6,6333 & 30 & 1 \\ 64000 & -5,175 & 40 & 1 \\ 216000 & -3,535 & 60 & 1 \end{vmatrix} = -2 \quad 124 \quad 925$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 3375 & 225 & -12,0667 & 1 \\ 27000 & 900 & -6,6333 & 1 \\ 64000 & 1600 & -5,175 & 1 \\ 216000 & 3600 & -3,535 & 1 \end{vmatrix} = 109 \quad 162 \quad 750$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 3375 & 225 & 15 & -12,0667 \\ 27000 & 900 & 30 & -6,6333 \\ 64000 & 1600 & 40 & -5,175 \\ 216000 & 3600 & 60 & -3,535 \end{vmatrix} = -2 \quad 430 \quad 656 \quad 250$$

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{14 \quad 688,45}{101 \quad 250 \quad 000} = 1,4557 \cdot 10^{-4}$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{2 \quad 124 \quad 925}{101 \quad 250 \quad 000} = -20,9869 \cdot 10^{-3}$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{109 \quad 162 \quad 750}{101 \quad 250 \quad 000} = 1,0782$$

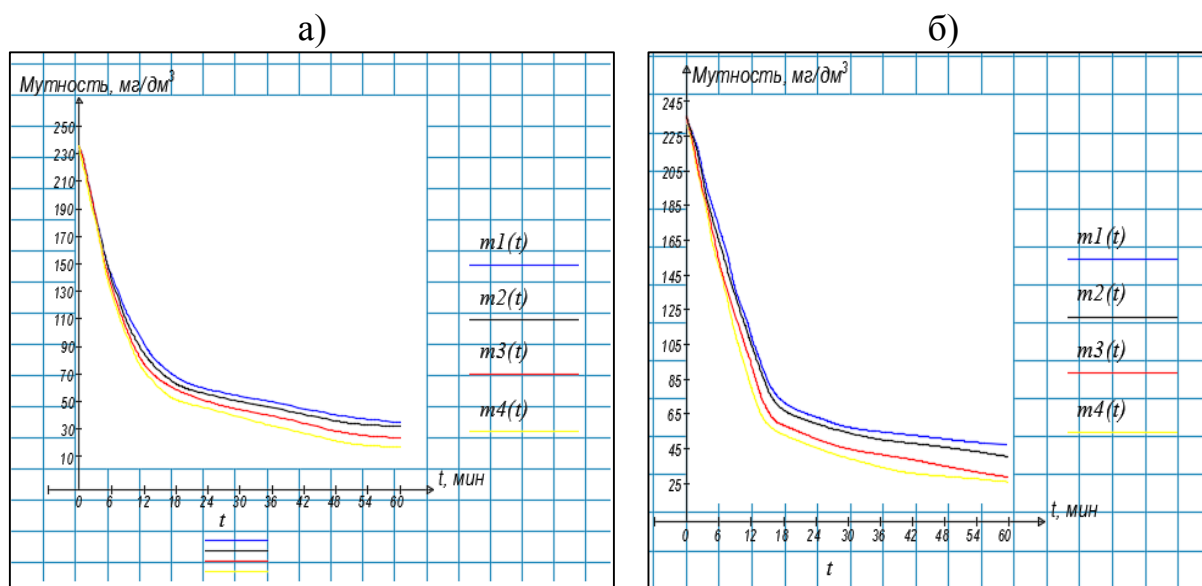
$$d = \frac{\Delta_4}{\Delta} = \frac{2 \quad 430 \quad 656 \quad 250}{101 \quad 250 \quad 000} = -24,0065$$

$$m(t) = 238 - 24,0065t + 1,0782 \cdot t^2 - 20,9869 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^3 + 1,4507 \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^4$$

В результате проверки адекватности результатов экспериментов и численного моделирования выяснилось, что расхождение между результатами не превышает 5%.



Графические интерпретации процесса предварительного осветления поверхностных вод, при различных временных значениях выпадения осадка и первоначальной значении мутности воды -  $238 \text{ мг/дм}^3$ , которые получены с помощью метода полинома и экспериментальным путём, приведены на рисунке 4.3.



а) численное моделирование;

б) экспериментальное исследование

**Рисунок 4.3. - Зависимость процесса осветления воды от дозы реагентов и времени осаждения (исходная мутность воды –  $238 \text{ мг/л}$ )**

#### **4.2. Численное моделирование эффекта процесса предварительного осветления поверхностных вод методом интерполяции**

В отдельных случаях для приближения одной функции к другой используют метод интерполяции. Вопрос состоит в том, чтобы одной переменной приблизить функции. В инженерной практике задачи интерполяции появляются в следующих случаях:

- интерполирования данных таблицы;
- извлечения аналитической зависимости по данным эксперимента;
- изменение сложной функции гораздо простым соотношением, с точки зрения вычислений;
- интегрирования и дифференцирования приближением;

– решения дифференциальных уравнений численным методом.

В нашем конкретном случае в задачу входит необходимость получить аналитическую зависимость по данным эксперимента. Для того, чтобы её решить воспользуемся интерполяционной формулой Лагранжа [35, 67].

Формула Лагранжа для интерполяции представляет собой формулу для определения интерполяционного многочлена  $L(x)$  степени  $m$ , который принимает в  $(m+1)$ -й исходной точке  $x_i$  интервала  $[a;b]$  заданных значений  $f(x_i), i= 0, 1, 2, \dots, m$ . Функция представляет собой:

$$f(x) \sim L(x) = \sum_{k=0}^m f(x_k) \frac{(x-x_1)(x-x_2)\dots(x-x_{k-1})(x-x_{k+1})\dots(x_k-x_m)}{(x_k-x_0)(x_k-x_1)\dots(x_k-x_{k-1})(x_k-x_{k+1})\dots(x_k-x_m)}, \quad (4.2.1)$$

Далее по формуле (4.2.1) определяем значения эффекта осветления с учетом данных, полученных в результате эксперимента - %  $\mathcal{E}_0 = 0$ ,  $\mathcal{E}_1 = 86,2$ ,  $\mathcal{E}_2 = 90,81$ ,  $\mathcal{E}_3 = 92,25$ ,  $\mathcal{E}_4 = 92,25$ , при временных значениях отстаивания, мин -  $t_0 = 0$ ,  $t_1 = 15$ ,  $t_2 = 30$ ,  $t_3 = 45$ ,  $t_4 = 60$ .

Подставив в формулу Лагранжа значения эффекта осветления и времени отстаивания, получаем их функциональную зависимость:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}(t) = & \frac{t-t_1}{t_0-t_1} * \frac{t-t_2}{t_0-t_2} * \frac{t-t_3}{t_0-t_3} * \frac{t-t_4}{t_0-t_4} * \mathcal{E}(t_0) + \\ & + \frac{t-t_0}{t_1-t_0} * \frac{t-t_2}{t_1-t_2} * \frac{t-t_3}{t_1-t_3} * \frac{t-t_4}{t_1-t_4} * \mathcal{E}(t_1) + \\ & + \frac{t-t_0}{t_2-t_0} * \frac{t-t_2}{t_2-t_1} * \frac{t-t_3}{t_2-t_3} * \frac{t-t_4}{t_2-t_4} * \mathcal{E}(t_2) + \\ & + \frac{t-t_0}{t_3-t_0} * \frac{t-t_2}{t_3-t_1} * \frac{t-t_3}{t_3-t_2} * \frac{t-t_4}{t_3-t_4} * \mathcal{E}(t_3) + \\ & + \frac{t-t_0}{t_4-t_0} * \frac{t-t_2}{t_4-t_1} * \frac{t-t_3}{t_4-t_2} * \frac{t-t_4}{t_4-t_3} * \mathcal{E}(t_4), \end{aligned} \quad (4.2.2)$$

Далее обозначим соответствующими символами каждый член составленного многочлена:

$$\begin{aligned}
\mathfrak{E}_0 &= \frac{t-t_1}{t_0-t_1} * \frac{t-t_2}{t_0-t_2} * \frac{t-t_3}{t_0-t_3} * \frac{t-t_4}{t_0-t_4} * \mathfrak{E}(t_0), \\
\mathfrak{E}_1 &= \frac{t-t_0}{t_1-t_0} * \frac{t-t_2}{t_1-t_2} * \frac{t-t_3}{t_1-t_3} * \frac{t-t_4}{t_1-t_4} * \mathfrak{E}(t_1), \\
\mathfrak{E}_2 &= \frac{t-t_0}{t_2-t_0} * \frac{t-t_2}{t_2-t_1} * \frac{t-t_3}{t_2-t_3} * \frac{t-t_4}{t_2-t_4} * \mathfrak{E}(t_2), \\
\mathfrak{E}_3 &= \frac{t-t_0}{t_3-t_0} * \frac{t-t_2}{t_3-t_1} * \frac{t-t_3}{t_3-t_2} * \frac{t-t_4}{t_3-t_4} * \mathfrak{E}(t_3), \\
\mathfrak{E}_4 &= \frac{t-t_0}{t_4-t_0} * \frac{t-t_2}{t_4-t_1} * \frac{t-t_3}{t_4-t_2} * \frac{t-t_4}{t_4-t_3} * \mathfrak{E}(t_4),
\end{aligned} \tag{4.2.3}$$

Подставив значения времени отстаивания в формулу (4.2.3) получим новые выражения:

$$\begin{aligned}
\mathfrak{E}_0 &= \frac{t-15}{-15} * \frac{t-30}{-30} * \frac{t-45}{-45} * \frac{t-60}{-60} * \mathfrak{E}(t_0), \\
\mathfrak{E}_1 &= \frac{t}{15} * \frac{t-30}{-15} * \frac{t-45}{-30} * \frac{t-60}{-45} * \mathfrak{E}(t_1), \\
\mathfrak{E}_2 &= \frac{t}{30} * \frac{t-15}{15} * \frac{t-45}{-15} * \frac{t-60}{-30} * \mathfrak{E}(t_2), \\
\mathfrak{E}_3 &= \frac{t}{45} * \frac{t-15}{30} * \frac{t-30}{15} * \frac{t-60}{-15} * \mathfrak{E}(t_3), \\
\mathfrak{E}_4 &= \frac{t}{60} * \frac{t-15}{45} * \frac{t-30}{30} * \frac{t-45}{15} * \mathfrak{E}(t_4),
\end{aligned}$$

Исходя из этого,

$$\begin{aligned}
\mathfrak{E}_0 &= \frac{1}{1215000} (t-15)(t-30)(t-45)(t-60), \\
\mathfrak{E}_1 &= -\frac{1}{303750} t(t-30)(t-45)(t-60), \\
\mathfrak{E}_2 &= \frac{1}{202500} t(t-15)(t-45)(t-60), \\
\mathfrak{E}_3 &= -\frac{1}{303750} t(t-15)(t-30)(t-60), \\
\mathfrak{E}_4 &= \frac{1}{1215000} t(t-15)(t-30)(t-45).
\end{aligned}$$

Для получения уравнения эффективности четвертой степени методом интерполяции необходимо подставлять  $\mathcal{E}_0, \mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$  и  $\mathcal{E}_4(\%)$  в уравнение (4.2.2) и упрощая их получим следующий многочлен :

$$\begin{aligned} \mathcal{E}(t) &= \frac{1}{1215000} \left[ \begin{aligned} &(t-15)(t-30)(t-45)(t-60) * 0 - 4t(t-30)(t-45)(t-60) * 86,2 + \\ &+ 6t(t-15)(t-45)(t-60) * 90,81 - 4t(t-15)(t-30)(t-60) * 92,25 + \\ &t(t-15)(t-30)(t-45) * 92,25 \end{aligned} \right] = \\ &= \frac{1}{1215000} \left[ \begin{aligned} &-344,8t(t^3 - 135t^2 + 5850t - 81000) + 544,86t(t^3 - 120t^2 + 4275t - 40500) - \\ &-369t(t^3 - 105t^2 + 3150t - 27000) + 92,25t(t^3 - 90t^2 + 2475t - 20250) \end{aligned} \right] = \\ &= \frac{1}{1215000} \left[ \begin{aligned} &-344,8t^4 + 46548t^3 - 2017080t^2 + 27928800t + \\ &+ 544,86t^4 - 65383,2t^3 + 2329276,5t^2 - 22066830t - \\ &-369t^4 + 38745t^3 - 1162350t^2 + 9963000t + \\ &+ 92,25t^4 - 8302,5t^3 + 228318,75t^2 - 1868062t \end{aligned} \right] = \\ &= \frac{t}{1215000} (-76,69t^4 + 11607,3t^3 - 621834,75t^2 + 13956908t) = \end{aligned} \tag{4.2.4}$$

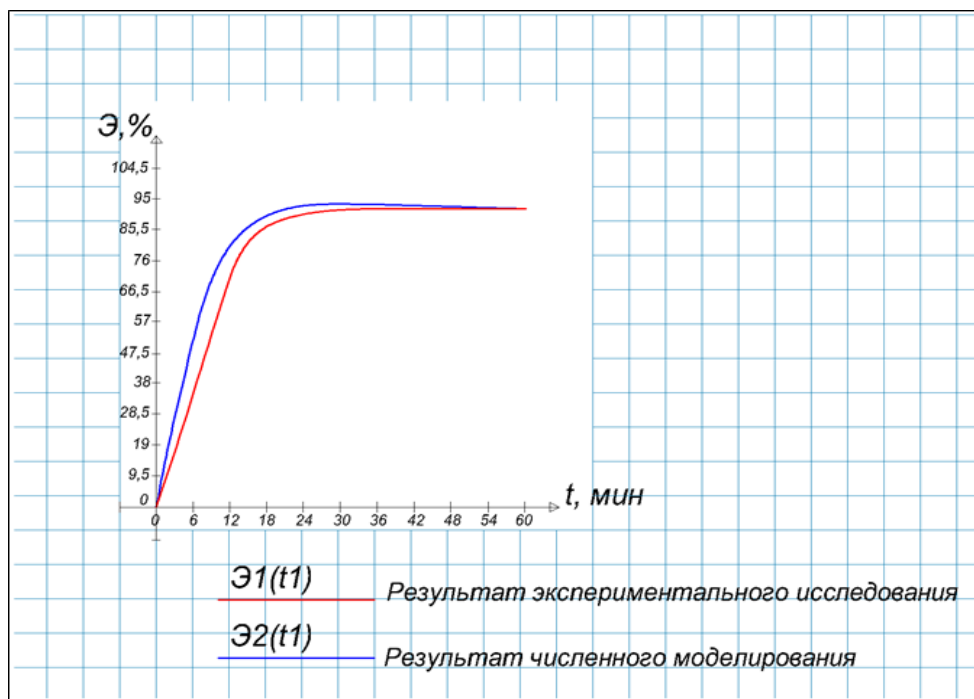
$$= -0,00006312t^4 + 0,009553t^3 - 0,511798t^2 + 11,48717t.$$

Следующая формула показывает окончательный результат:

$$\mathcal{E}(t) = -0,00006312t^4 + 0,009553t^3 - 0,511798t^2 + 11,48717t \tag{4.2.5}$$

Сравнительный анализ теоретических результатов и итогов эксперимента свидетельствует о том, что средняя ошибка второго способа построения математической модели не превосходит 1%, и это указывает на достоверность результатов, которые получены экспериментальным путём.

Подставив заданные значения времени отстаивания в уравнение (4.2.5), полученное по формуле (4.2.4), решили с помощью программы РТС Mathcad Prime 4.0., и в итоге получили нижеуказанный график:



**Рисунок 4.4. – Анализ эффективности применения современных флокулянтов для очистки поверхностных вод**

### **4.3. Расчёт процесса осветления воды на скорых песчаных фильтрах очистной станции самотечного водопровода**

Важным мероприятием в системе питьевого водоснабжения является процесс осветления воды. Осветлению воды свойственно очищение от примесей, которые в основном имеют в своем составе взвешенные вещества и коллоиды. На скорых песчаных фильтрах задерживаются взвешенные вещества с размерами более 10 мкм и с концентрацией до 50 мг/л, но коллоидов можно очищать только с помощью коагулянтов. В результате процесса коагуляции коллоиды слипаются к реагенту, укрупняются и задерживаются на загрузке песчаных фильтров.

Для подбора фильтров для очистки и осветления питьевой воды необходимы данные о максимальном расходе воды за единицу времени, а также характеристике и условиях применения фильтрующего материала.

Рассмотрим описание процесса и гидравлический расчет процесса осветления воды на скорых песчаных фильтрах очистной станции самотечного водопровода при очистке питьевой воды.

Количество фильтров = 10 шт., фильтры в обслуживании или обратной промывке = 1 шт., рабочие фильтры = 10 - 1 = 9 шт., количество секций в каждом фильтре = 2, размеры каждой секции = 14,78 м × 4,06 м, площадь каждой секции = 60 м<sup>2</sup>, площадь каждого фильтра = 120 м<sup>2</sup>.

$$\text{Скорость фильтрования (все фильтры рабочие)} = \frac{5000 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}}{120 \text{ м}^2 * 10} = 4.17 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 * \text{ч}}$$

$$\text{Скорость фильтрования (девять рабочих фильтров)} = \frac{5000 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}}{120 \text{ м}^2 * 9} = 4.63 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 * \text{ч}}$$

Количество плит в каждом слое = 12 × 3 = 36

Размер плиты = 1300 мм × 1200 мм

Количество насадок в каждой плите = 81

Количество насадок во всех фильтрах = 36 × 2 × 81 × 10 = 58320

Дополнительные насадки в качестве запасных = 10% от общего количества насадок.

Общее количество насадок = 64152

$$\text{Скорость воды при обратной промывке} = 21.6 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 * \text{ч}}$$

Количество рабочих насосов обратной промывки = 2+1

$$\text{Мощность каждого насоса обратной промывки} = \frac{21.6 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 * \text{ч}} * 120 \text{ м}^2}{2} = 1296 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$$\text{Мощность насоса обратной промывки} = 1300 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$$\text{Скорость подачи воздуха обратной промывки} = 53.6 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 * \text{ч}}$$

Количество рабочих вентиляторов обратной промывки = 2+1

Мощность каждого вентилятора обратной промывки

$$= \frac{53.6 \frac{m^3}{m^2 * h} * 120 m^2}{2} = 3216 \frac{m^3}{h}$$

**Таблица 4.3.1 – Песочная секция**

Размер сетки		Средний диаметр	Весовой процент
№ 20	№ 18	0,92	5
№ 18	№ 16	1,10	10
№ 16	№ 14	1,30	35
№ 14	№ 12	1,55	45
№ 12	№ 10	1,84	5

$$d_{10} = 1,05 \text{ мм}$$

$$d_{60} = 1,35 \text{ мм}$$

$$UC = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{1,35}{1,05} = 1,29$$

пористость чистой секции = 0,43

глубина песочной секции = 1,2 м

глубина гравийной секции = 0,1 м

коэффициент формы = 0,75

Гидравлический расчёт производится следующими уравнениями:

Уравнение Хазена Уильямса:  $V = 0.355CD^{0.63} \left( \frac{h_f}{L} \right)^{0.54}$

$$Q = 0.278CD^{2.63} \left( \frac{h_f}{L} \right)^{0.54}$$

$$h_f = 6.81 \left( \frac{V}{C} \right)^{1.85} \frac{L}{D^{1.167}}$$

$$h_f = 10.67 \left( \frac{Q}{C} \right)^{1.85} \frac{L}{D^{4.87}}$$

где,  $V$  - скорость в трубах, м/с

$C$  - коэффициент шероховатости (величина  $C$  зависит от материала и

возраста трубы, он может варьироваться от 60-140);

$D$  - эквивалентный диаметр трубы, м

$h_f$  - общая потеря трения на всасывающей и нагнетательной трубе, м

$L$  - длина трубы, м

Уравнение Маннинга:  $V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$

$$R = \frac{\text{Площадь}}{\text{Смочен.периметр}}$$

где,  $V$  - скорость, м /с

$n$  - коэффициент шероховатости

$R$  - гидравлический средний радиус, м

$S$  - наклон линии энергетического качества или инвертированный наклон, м/м.

**Таблица 4.3.2 – Общие значения коэффициента шероховатости, используемые в уравнении Маннинга**

Материалы	Обычно используемые значения $n$
Бетон	0,013 и 0,015
Чугун	0,013 и 0,015
Труба из гофрированного металла	0,022 и 0,025
Асбестоцемент	0,013 и 0,015

$$Q = V \cdot A$$

$Q$  - поток, м<sup>3</sup>/с

$A$  - площадь, м<sup>2</sup>

$V$  - скорость, м/с

Незначительные потери вычисляются по формуле:

$$h_L = K \frac{V^2}{2g}$$

где,  $h_L$  - незначительные потери из-за входа, выхода или изменения направления потока, м;

$K$  - коэффициент потерь напора;



$V$  - скорость потока, м/с

$g$  - ускорение из-за силы притяжения, 9,81 м/с<sup>2</sup>

Прямоугольный Вейер определяется следующей формулой:

$$Q = \frac{2}{3} C_d H^{3/2} L' \sqrt{2g}$$

$$L' = L - 0.1nH$$

где  $Q$  - поток над водосливом, м<sup>3</sup>/с

$H$  - верхняя перегородка, м

$C_d$  - коэффициент разряда, предположим, что 0,6

$$L' = L - 0.1nH$$

$L$  - длина водослива, м

$n$  - количество конечных сокращений

Потери напора через секцию определяются уравнением Роуза:

$$h_L = \frac{1.067}{\phi} \frac{D}{g} \frac{V_a^2}{\varepsilon^4} \sum \frac{C_d X}{d}$$

$$V_a = \frac{Q}{A}$$

Коэффициент трения

$$R_e < 1 \quad C_d = \frac{24}{R_e}$$

$$R_e < 1 < 1000 \quad C_d = \frac{24}{R_e} + \frac{3}{\sqrt{R_e}} + 0.34$$

Число Рейнольдса

$$R_e = \frac{V_a d}{\nu} \phi$$

$$N_R = \frac{\phi d V_a}{\mu} p_w$$

где  $h_L$  - потери напора на трение, м

$\phi$  - коэффициент формы

$D$  - глубина сектора, м

$V_a$  - скорость приближения, м/с

$\varepsilon$  - пористость

$C$  - коэффициент перетаскивания

$X$  - массовая доля для размера частиц

$d$  - размер частиц, м  
 $Q$  - поток фильтра, м<sup>3</sup>/с  
 $A$  - площадь фильтра, м<sup>2</sup>  
 $\rho_w$  - плотность воды, кг/м<sup>3</sup>  
 $\mu$  - кинематическая вязкость, м<sup>2</sup>/с

Глубина расширенного сектора определяется формулой:

$$D_e = (1 - \varepsilon) D \sum \frac{X}{1 - \varepsilon_e}$$

где  $D_e$  - глубина расширенного сектора  
 $\varepsilon$  - нормальная пористость сектора  
 $D$  - нормальная глубина сектора  
 $X$  - весовая доля  
 $\varepsilon_e$  - пористость расширенного сектора

Пористость расширенного сектора:

$$\varepsilon_e = \left( \frac{V_b}{V_s} \right) 0.22$$

где  $\varepsilon_e$  - пористость расширенного сектора

$V_b$  - скорость потока воды обратной промывки, м/с

$V_s$  - скорость осаждения частиц, м/с

Урегулирование скорости частиц производится:

$$V_s = \left[ \frac{4g}{3C_d} (S_s - 1) d \right]^{1/2}$$

где  $V_s$  - скорость осаждения частиц, м/с

$C_d$  - коэффициент сопротивления

$S_s$  - удельный вес частиц

$d$  - диаметр частиц, м

$g$  - ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>

Неочищенная вода поступает во впускную камеру блока фильтрации по одной трубе DN 1500, а затем поступает в общий впускной канал блока

фильтрации. Вода распределяется между 10 фильтрами через водосливные ворота каждого фильтра. Ширина канала выбрана такой, чтобы ее было достаточно для дальнейшего расширения фильтра. Ширина общего впускного канала, длина впускного затвора и его высота как следует:

- глубина воды во входном канале;
- ширина впускного канала, м<sup>2</sup>;
- модуль расширения.

Количество фильтров: 20 единиц

$$Q_{\text{общ.}} = 10000 \frac{m^3}{h} = 2.778 \frac{m^3}{S}$$

$$\text{Максимальный } Q \text{ в общем входном канале} = \frac{3}{4} Q_{\text{общ.}} = 7500 \frac{m^3}{h} = 2.083 \frac{m^3}{S}$$

$$S = 0,001, \quad n = 0,014$$

Ширина канала,  $b = 2\text{ м}$

$$\frac{2.083}{2 * y} = \frac{1}{0.014} * \left( \frac{2 * y}{2 + 2y} \right) * 0.001^{1/2}$$

Таким образом, выбранная глубина для впускного канала составляет:

1,25 м

Входной затвор регулирует скорость потока на входе для каждого фильтра.

Текущий модуль:

$$Q_{\text{общ.}} = 5000 \frac{m^3}{h} = 1.389 \frac{m^3}{S}$$

Общее количество фильтров: 10 единиц

Уровень воды в общем впускном канале 7.38 м

Длина входных водосливных ворот 1 м

Напор воды на входе в водосливные ворота:

Количество фильтров в работе: 9 единиц

$$Q_{\text{кажд. фильтра}} = \frac{5000 \text{ м}^3}{9 \text{ ч}} = 0.154 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$L = 1\text{м}, \quad n = 0, \quad C_d = 0.6$$

$$0.154 = \frac{2}{3} * 0.6 * H^{2/3} * (1 - 0.1 * 0 * H) * \sqrt{2 * 9.81}$$

$$H = 0.20\text{м}$$

Высота въезда на водосливные ворота  $7.38 - 0.20 = 7.18\text{м}$

Глубина воды в общей впускной камере  $0,50\text{м}$

Нижняя часть высоты входного канала  $7,38 - 0,50 = 6,88\text{м}$

В экстренных случаях для общего входного канала рассматривается водослив. Когда требуется обойти фильтры или, когда по какой-либо причине неочищенная вода не может попасть в фильтры, труба DN 1000 передаёт неочищенную воду в канал обратной промывки фильтра.

Высота переполнения водослива  $7,38 + 0,15 = 7,53\text{м}$

Длина переливного водослива  $13\text{м}$

Напор воды на переливе водослива:

$$L = 13\text{м}, \quad n = 0, \quad C_d = 0.6$$

$$1.389 = \frac{2}{3} * 0.6 * H^{2/3} * (13 - 0.1 * 0 * H) * \sqrt{2 * 9.81}$$

$$H = 0.15\text{м}$$

Высота воды на переливе водослива  $7,53 + 0,15 = 7,68\text{м}$

Верх фильтрационного блока  $8.13\text{м}$

**Таблица 4.3.3 – Спецификация фильтрующего материала (песочная секция)**

Размер сетки	Средний диаметр	Весовой процент
№ 20 № 18	0,92	5
№ 18 № 16	1,10	10
№ 16 № 14	1,30	35
№ 14 № 12	1,55	45
№ 12 № 10	1,84	5

$$d_{10} = 1,05\text{мм}$$

$$d_{60} = 1,35 \text{ мм}$$

$$UC = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{1.35}{1.05} = 1.29$$

Таблица 4.3.4 – Спецификация фильтрующего материала (гравийная секция)

Нижний размер	Верхний размер	Средний размер	Процент
1,6	3	2,3	100

пористость чистой секции = 0,43  
 глубина песочной секции = 1,2 м  
 глубина гравийной секции = 0,1 м  
 коэффициент формы = 0,75

Потери напора через чистый слоисто-песчаный фильтр определяются выражением:

$$Q_{\text{общ.}} = 5000 \frac{\text{м}^3}{\text{hr}} = 1.389 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Количество фильтров = 9

$$S = 120 \text{ м}^2$$

$$V_a = \frac{1.389 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}}{9} * \frac{1}{120 \text{ м}^2} = 0.0013 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \mu = 0.001 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{м} \cdot \text{с}}$$

$$h_L = \frac{1.067}{0.75} \frac{1.2}{9.81} \frac{0.0013^2}{0.43^4} * 15566 + \frac{1.067}{0.75} \frac{0.1}{9.81} \frac{0.0013^2}{0.43^4} * 5739 = 0.13 + 0.00 = 0.13 \text{ м}$$

Глубина псевдооживленного слоя определяется:

$$V_{\text{обр. воды}} = 2,16 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 * \text{ч}} = 0.006 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$D_e = (1 - 0.43) * 1.2 * 2.87 * + (1 - 0.43) * 0.1 * 3.11 = 1.96 + 0.18 = 2.14 \text{ м}$$

Доступный напор	1,73м
Высота поверхности слоя	$7,38 - 1,73 = 5,65\text{м}$
Глубина ложа	1,3м
Высота поверхности плиты	$5,65 - 1,30 = 4,35\text{м}$
Фильтр напольный	3,20м
Высота поверхности кровати при обратной промывке	$4,35 + 2,14 = 6,49\text{м}$
Свободная высота	0,11м
Высота канала обратной промывки сточных вод	$6,49 + 0,11 = 6,60\text{м}$

Напор воды на канале обратной промывки равен:

$$L = 14,78\text{м}, \quad n = 0, \quad C_d = 0.6$$

$$Q_{\text{нас.обр.воды}} = 1300 \frac{\text{м}^3}{\text{hr}} = 0.361 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$0.361 = \frac{2}{3} * 0.6 * H^{\frac{2}{3}} * (14.78 - 0.1 * 0 * H) * \sqrt{2 * 9.81}$$

$$H = 0.06\text{м}$$

$$\text{Уровень воды при обратной промывке} \quad 6,60 + 0,06 = 6,66\text{м}$$

Потери напора через фильтрованную водопроводную трубу:

$$Q = \frac{1.389}{9} = 0.154 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \text{ количество фильтров в работе} = 9,$$

$$DN = 400\text{мм}, \quad C = 120, \quad L = 6.5\text{м}$$

$$h_f = 10.67 \left( \frac{0.154}{120} \right)^{1.85} \frac{6.5}{0.4^{4.87}} = 0.027\text{м}$$

Незначительные потери:

$$V = \frac{0.154}{(\pi * 0.4^2) / 4} = 1.23 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\sum K = 0.29 * 2 + 0.3 + 1 + 0.5 = 2.38$$

$$h_L = (2 * 0.29 + 0.3 + 0.5 + 1 + 0.5) * \frac{1.23^2}{2 * 9.81} = 0.184\text{м}$$

$$\text{Общая потеря напора} = 0,027 + 0,184 = 0,21 \text{ м}$$

Потеря напора через систему дренажа = 0,1 м

Расстояние между дном трубы для фильтрованной воды и поверхностью слоя - 0,1м.

Нижняя часть высоты отфильтрованной воды  $5,65 + 0,1 = 5,75\text{м}$

Уровень воды в чистом слое  $0,13 + 0,211 + 0,1 + 0,1 = 0,54\text{м}$

Уровень воды в водохранилище  $2,60\text{м}$

Дно водоема  $0,00\text{м}$

Определяем напор воды на выпуске водослива:

$$L = 14,78 \text{ м}, \quad n = 0, \quad C_d = 0,6$$

$$1,389 = \frac{2}{3} * 0,6 * H^{\frac{2}{3}} * (14,78 - 0,1 * 0 * H) * \sqrt{2 * 9,81}$$

$$H = 0,24 \text{ м}$$

Высота на выходе из водослива  $2,60 - 0,24 = 2,36\text{м}$

Диаметр выпускной трубы  $1500\text{мм}$

#### **Выводы по главе 4**

1. В результате экспериментальных исследований разработано математическое моделирование прогнозирования качества осветления воды, которое может быть использовано в производстве для активации процесса коагуляционной обработки воды.

2. Сравнительный анализ теоретических результатов и итогов эксперимента свидетельствует о том, что средняя ошибка при построении математической модели не превосходит 1%, и это указывает на достоверность полученных результатов.

3. Подбирая фильтр для очистки и осветления питьевой воды необходимо иметь данные о максимальном расходе воды за единицу времени, а также характеристике и условиях применения фильтрующего материала.

## Глава 5. ТЕХНОЛОГИЯ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ САМОТЕЧНОГО ВОДОПРОВОДА ГОРОДА ДУШАНБЕ

### 5.1. Модернизация схемы водоподготовки с учетом надежности работы очистных сооружений

Вопросы повышения надежности и эффективности работы водопроводных сооружений является немаловажным фактором при подготовке питьевой воды. Специфика системы водоснабжения города Душанбе состоит в том, что она на 65% базируется на поверхностных источниках, что во многом зависит от степени антропогенной нагрузки и их экологической безопасности.

К тому же качество поверхностных источников водоснабжения питьевой воды не всегда отвечает допустимым требованиям. Особенно это свойственно для реки Варзоб, являющиеся единственным источником поверхностного водоснабжения города Душанбе, и которая в достаточном объеме подвержена антропогенному воздействию, имеющая следующий физико-химический состав (табл. 5.1.1).

**Таблица 5.1.1. Показатели физико-химического состава р. Варзоб**

Наименование показателей	Концентрация
Водородный показатель, рН	7,9 - 8,15
Сухой остаток, мг/л	228 - 335
Жесткость общая, мг- экв/л	1,2 - 2,2
Мутность, мг/л	23 - 6220
Цветность, град.	До 40
Щелочность, мг- экв/л	2,1 – 3,1
Железо мг/л	0,2 - 0,5
Кальций, мг- экв/л	1,1 - 2,1
Коли- индекс	23 - 238
Нитраты, мг/л	1,1 - 1,8



Полный состав физико-химических и бактериологических показателей воды реки Варзоб за последние три года приведен в приложении диссертации.

Вода, поступающая из реки Варзоб в целях питьевого водоснабжения проходит традиционную схему: двухступенчатую очистку с отстаиванием (предварительное осаждение) и первичным осветлением в слое взвешенного осадка и дальнейшим осветлением на скорых песчаных фильтрах.

Первая ступень очистки. Существующая схема очистки включает следующие этапы:

- предварительное осаждение;
- коагуляция - флокуляция с использованием сульфата алюминия;
- осаждение;
- дезинфекция гипохлоритом натрия [З-А].

Существующая производительность бассейна осаждения (отстойника) оценивается как составляющая:

$$Q=300,000 \text{ м}^3/\text{сутки} = 12,500 \text{ м}^3/\text{час} = 3,472 \text{ дм}^3/\text{сек}.$$

Предварительное осаждение осуществляется в открытом бассейне общим объемом  $V=133,088 \text{ м}^3$ .

Соответствующее время предварительного осаждения для различных рабочих расходов представлено в таблице 5.1.2.

**Таблица 5.1.2 - Время предварительного осаждения для различных рабочих расходов**

Расход ( $\text{м}^3/\text{сутки}$ )	Время предварительного осаждения, (час)
$Q = 120,000 \text{ м}^3/\text{сутки}$	26.6
$Q = 240,000 \text{ м}^3/\text{сутки}$	13.3
$Q = 300,000 \text{ м}^3/\text{сутки}$	10.7

Рабочие значения времени предварительного осаждения считаются нормальными для данного типа технологий.

В качестве коагулянта для очистки сырой воды используется сульфат алюминия ( $\text{Al}_2\text{SO}_4 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ). Коагулянт поставляется в больших мешках в виде твердого измельченного вещества. Концентрированный раствор сульфата алюминия готовится с помощью добавления воды к твердому сульфату алюминия.

Раствор находится в резервуарах, откуда он нагнетается в камеру быстрого смешивания. Необходимо отметить, что измерение расхода сульфата алюминия раньше не производилось, чем определяется низкая точность дозирования и, как следствие, плохая эффективность этапа коагуляции – флокуляции.

Кроме того, воды открытых водоемов (бассейнов) ОССВ в основной части года с низкой температурой. И поскольку температура воды низкая, вязкость повышается и, исходя из этого, понижается частота соударений и кинетическая подвижность коллоидных частиц, которые образуются в ходе процесса гидролиза. В связи с этим не происходит их достаточная необходимая агрегация. При этом образующиеся хлопья с небольшой гидравлической крупностью слабо выпадают в осадок в отстойниках (открытых бассейнах) и не формируют слой осадка во взвешенном состоянии. В результате вода, не осветленная в достаточной норме (уровень мутности иногда достигает до 100 мг/л), подается на следующий этап осветления, то есть на скорые фильтры с песчаной загрузкой. Этим самым в основном нагружаются фильтры и не всегда обеспечивают требуемую эффективность очистки.

Осадок, который образуется в загрузке песчаных фильтров обладает малой прочностью на сдвиг и очень легко разрушается при действии касательных напряжений на поверхности зерен загрузки и выносится из фильтров. Все это в итоге приводит к сокращению продолжительности работы фильтроцикла [З-А].

Следует отметить, что для улучшения работы ОССВ существует несколько простых мер, которые могут быть предприняты с низкими затратами, но с существенными результатами:

К основным мерам по улучшению работы ОССВ можно рекомендовать следующее:

1. Для измерения расходов воды рекомендуется установить ультразвуковые расходомеры для открытых каналов с автоматической калибровкой.

Метод измерения, используемый для изучения скорости потока, основан на принципе ультразвукового отражения. Одним из наиболее эффективных методов для определения и расчета скорости потока является метод корреляции (взаимосвязь между двумя схожими изображениями) с помощью ультразвукового расходомера типа NIVUS. Он основан на отражении частиц (минералов или пузырьков), содержащихся в жидкости.

Затем полученные скорости могут быть точно размещены в пространстве и указаны. С помощью измерения высоты воды другим сенсором с вертикальным ориентированием расход может быть рассчитан для определенного типа сечения, которое было изначально определено в программном обеспечении расходомера. Предлагаемой точкой измерения является входной канал для сырой воды в бассейне для предварительного осаждения.

2. Для дозирования коагулянта, чтобы обрести точность в дозировке, а также соотношение с расходом и качеством сырой воды простым решением является использование дозирующих насосов.

Точное дозирование коагулянта определяет лучшую реализацию процесса коагуляции – флокуляции и соотношение с условиями качества воды, а также улучшение качества очищенной воды и в некоторых случаях, устранение передозировки коагулянта.

3. Существуют различные типы полимеров, которые используются как вспомогательные коагулянты в процессе коагуляции и флокуляции. Результатом являются большое сцепление и тяжелые хлопья, которые намного лег-

че удалять. На рисунке представлены сравнительные результаты тестов в колбах без и с добавлением полимеров. На ОССВ в качестве полимера применялось тип «POLY SEPAR AN 34 TW».

Обычная дозировка полимера очень мала (0.1-0.2 мг/л), также раствор составляется с очень низкой концентрацией (0.1-0.5%) [3-А].



*а) тест в колбах с использованием только коагулянта;*

*б) тест в колбах с использованием коагулянта и полимера*

**Рисунок 5.1. - Результаты тестов коагуляции**

Вторая ступень очистки. Фильтрационные установки представляют собой открытые бассейны, в которых осветленная вода проходит через фильтрационную среду, состоящую из кварцевого песка. Фильтры расположены в два ряда, между ними находится галерея с гидравлическими установками.

Прием осветленной воды осуществляется снаружи фильтров из открытого канала. Чтобы обеспечить равное разделение расхода для каждого фильтра, в открытом канале устраиваются приемные карманы, имеющие одинаковую длину и уровни. Осветленная вода поступает в открытые каналы каждого фильтра (два открытых канала на каждый фильтр). Отверстия между каналом с осветленной водой и открытым каналом фильтра оборудованы шлюзовыми затворами, которые закрываются при обратной промывке.

Вода поступает в фильтр из открытых каналов по ширине фильтра, обеспечивая равномерную нагрузку на фильтр и позволяя избежать эффекта

искусственного осаждения, который возникает в случае, если вода поступает в фильтр в продольном направлении. Высота воды над фильтрационной средой является псевдопостоянной во время процесса фильтрации и составляет  $H=1.0 - 1.2$  м, чтобы иметь постоянное давление на фильтрационную среду.

Фильтрационный слой состоит из кварцевого песка, обладающего следующими характеристиками:

- размер зерна: 0.7-2.0 мм;
- изменение размеров зерен песка;
- максимум на 5% меньше 0.7 мм;
- максимум на 5% больше 2.0 мм;
- эффективный диаметр  $d_{10} = 0.7-1.1$  мм;
- коэффициент однородности  $UC = d_{60} / d_{10} \leq 1.5$ , но значения до 1.8 являются приемлемыми;
- содержание кварца в песке - минимум 92%, что обеспечивает жесткость в единицах измерения  $M_{obs} > 7$ ;
- растворимость в кислоте (20% HCl, после 24 часов при 20°C) < 2%;
- хрупкость < 4%;
- высота песчаного слоя:  $H_s =$  не менее 1.2 м;
- высота слоя воды над песком:  $H_w = 1.0 - 1.2$  м;
- пористость песчаного слоя:  $P > 40\%$ .

Фильтрационный слой располагается на сопловых плитах. Отверстия имеют диаметр 0.2 мм, что меньше, чем размер зерен песка. Таким образом, только вода будет проходить. Отверстия играют также важную роль во время обратной промывки, так как они трансформируют пузырьки воздуха в мелкие пузырьки, и процесс обратной промывки становится более эффективным.

Отфильтрованная вода проходит через два колодца и по трубе для отфильтрованной воды, в которой установлена поворотная заслонка, регулирующая процесс фильтрации. Заслонка работает с помощью двух датчиков

давления, которые определяют открытие заслонки во время процесса фильтрации, что компенсирует изменяемые потери напора в песчаном слое. Фильтрационная установка полностью автоматизированная.

Ниже фильтров находится резервуар объемом  $V=3,800 \text{ м}^3$ . В резервуар может подаваться хлор для дезинфекции, обеспечивая время контакта в 45 минут [З-А].

Работа быстродействующей песочной фильтрационной установки осуществляется в два последовательных цикла:

1. Цикл фильтрации – цикл фильтрации начинается со слоя чистого песка и заканчивается, когда мутность отфильтрованной воды достигает значений, выше, чем максимально допустимые, или, когда потери напора в фильтрационном слое становятся выше, чем максимально допустимые;

2. Цикл обратной промывки – состоит из двух последовательных этапов:

- этап 1 – обратная промывка водой и воздухом;

- этап 2 – обратная промывка водой.

В цикле фильтрации осветленная вода распределяется в каждый фильтр из открытого канала, расположенного рядом с фильтрами. Из этого канала вода попадает в открытые желоба, находящиеся по бокам фильтра. Запорные клапаны на обоих желобах открыты. Вода сбрасывается из обоих каналов в фильтры на коротком расстоянии от фильтра таким образом, чтобы избежать эффект осаждения и искусственного покрытия песчаного слоя частицами. С помощью разделения на коротком расстоянии нагрузка на фильтр является равномерной в отношении частиц, и вся масса фильтрационного слоя является активной.

Отфильтрованная вода проходит через отверстия и поступает в первый колодец, расположенный в установочной галерее. Из этого колодца вода проходит по трубе для отфильтрованной воды во второй колодец, откуда вода поступает в резервуар, расположенный ниже фильтров.

На трубе для отфильтрованной воды установлено два клапана:

- поворотная заслонка, которая регулирует процесс фильтрации;
- запорный клапан, который используется только в случае прекращения работы фильтра.

Во время процесса фильтрации поры песчаного слоя забиваются. Этим определяется увеличение потерь напора от низких значений в начале процесса до высоких значений в конце процесса. Чтобы иметь постоянный уровень воды в течение всего цикла фильтрации, изменение потерь напора, определяемое песчаным слоем, компенсируется изменением потерь напора, создаваемым поворотной заслонкой на трубе для отфильтрованной воды.

В начале процесса, когда песчаный слой чист и потери напора низки, поворотная заслонка открыта лишь немного. В ходе процесса фильтрации, когда в порах песчаного слоя накапливаются отложения, потери напора через песок увеличиваются, а поворотная заслонка постепенно открывается и создает меньшие потери напора. Этот принцип является принципом постоянного уровня и изменяемого расхода фильтрации.

Окончательная дезинфекция осуществляется с использованием гипохлорита натрия. Изготовление гипохлорита натрия производится на месте на очень современном оборудовании с помощью электролиза с использованием соли (NaCl). Цех по производству гипохлорита натрия полностью автоматизирован и работает с очень хорошими результатами. Раствор гипохлорита вводится в резервуар чистой воды.

Ниже приводятся результаты лабораторного анализа очищенной воды после вторичного осветления на скорых песчаных фильтрах (таблица 5.1.3.). Результаты получены согласно данным лаборатория качества и контроля воды ГУП «Душанбеводоканал» в период февраля месяца 2020 года.

**Таблица 5.1.3 - Результаты лабораторного анализа очищенной воды после фильтрации**

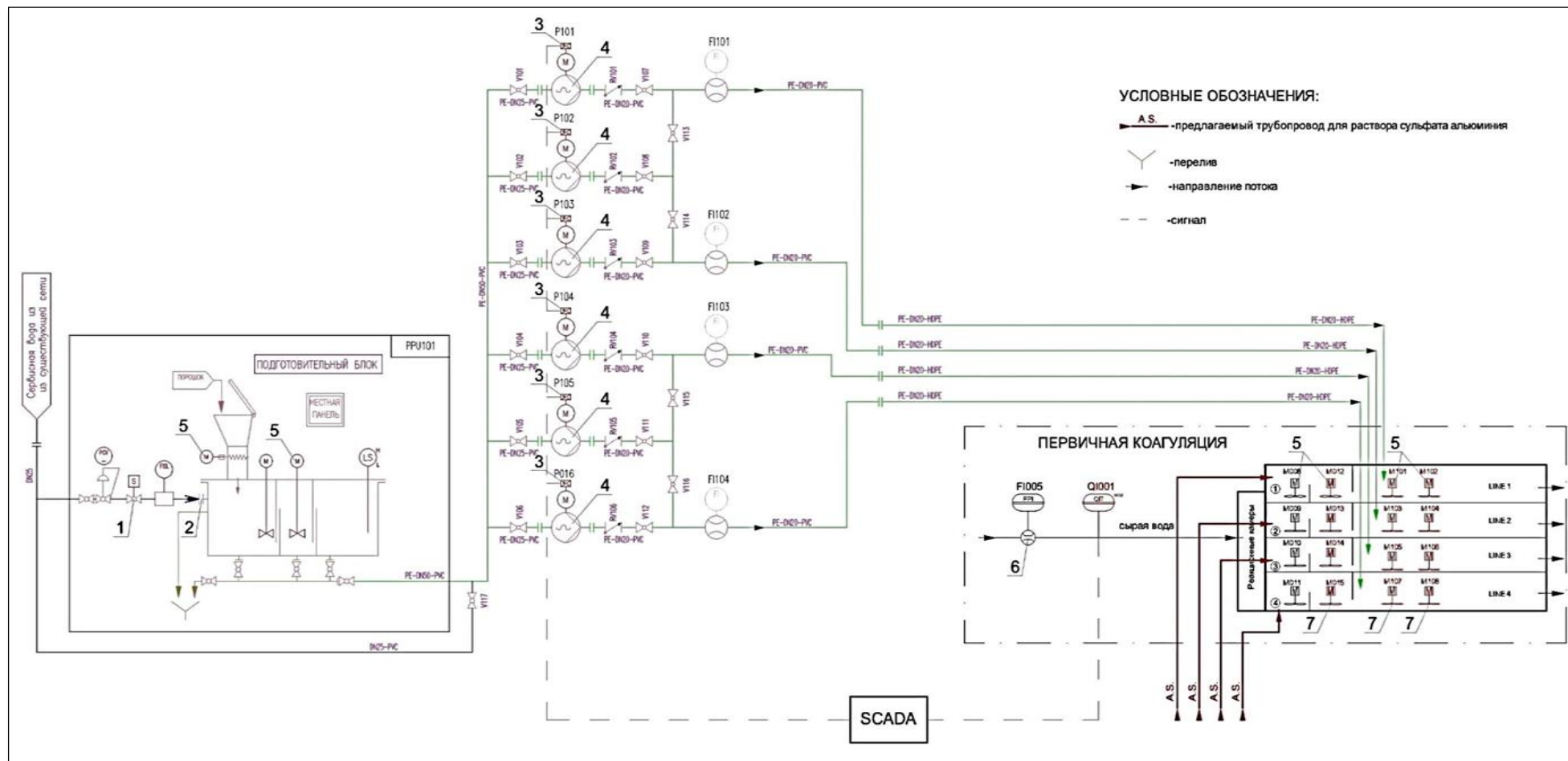
Дата проб анализа	Расход воды в (м <sup>3</sup> /ч)	Результаты лабораторного анализа			
		Фильтр – 1		Фильтр – 2	
		Мутность при входе (NTU)	Мутность при выходе (NTU)	Мутность при входе (NTU)	Мутность при выходе (NTU)
03.02.2020	6257.00	3.50	1.66	3.50	1.40
04.02.2020	6453.33	3.50	1.70	3.50	1.46
05.02.2020	6304.00	3.20	1.66	3.20	1.23
06.02.2020	6561.00	3.70	1.60	3.70	1.50
07.02.2020	6146.00	3.93	1.07	3.93	1.50
08.02.2020	6156.66	3.34	1.33	3.34	1.63

Примечание: 1 NTU = 0,56 мг/л.

Данные таблицы 5.1.2 указывают на то, что качество исследуемых проб после очищения соответствует нормативным требованиям качества питьевой воды ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая».

Основываясь на экспериментальных данных и производственных испытаниях, усовершенствовалась существующая технологическая схема подготовки и дозировки смеси коагулянта и флокулянта на действующей станции очистки воды ОССВ (рис. 5.2).





1) шаровой кран; 2) демонтаж соединения; 3) преобразователь частоты; 4) прогрессивный резонаторный насос; 5) электроприводное оборудование; 6) расходомер (ротаметр); 7) электромоторный смеситель.

**Рис. 5.2. - Оптимизация технологической схемы подготовки и дозировки коагулянта и флокулянта на очистной станции самотечного водопровода города Душанбе**

Поток делится на две линии коагуляции – флокуляции, каждая из которых состоит из:

- двух камер для быстрого смешивания, установленных параллельно;
- одной камеры для медленного смешивания с разделительными мембранами.

Камеры для быстрого смешивания оснащены электрическими мешалками с фиксированной скоростью. Мешалки используются только тогда, когда мутность сырой воды превышает  $1000 \text{ мг/дм}^3$ .

Мешалки используются для надлежащего смешивания коагулянта, а также для достижения необходимых градиентов ( $G=400-600 \text{ s}^{-1}$ ) в перикинетической фазе процесса коагуляции.

Каждая камера для быстрого смешивания имеет рабочий объем  $V_{IRR} = 23,5 \text{ м}^3$ , при этом общий объем составляет  $V_{RR} = 94 \text{ м}^3$  (2 линии x 2 камеры).

На следующем рисунке представлен вид на камеры для быстрого смешивания.



**Рисунок 5.3. - Вид на камеры для быстрого смешивания раствора**

Соответствующее время быстрой реакции для различных рабочих расходов представлено в таблице 5.1.4.

**Таблица 5.1.4 - Время быстрой реакции для различных рабочих расходов**

Расход (м <sup>3</sup> /сутки)	Время быстрой реакции	
	(сек)	(мин.)
Q = 120,000 м <sup>3</sup> /сутки	68	1 мин. 7 сек
Q = 240,000 м <sup>3</sup> /сутки	34	< 1 мин.
Q = 300,000 м <sup>3</sup> /сутки	27	< 1 мин.

Для всех расходов время быстрой реакции считается недостаточным. Медленное смешивание для процесса коагуляции – флокуляции осуществляется в двух камерах с разделительными мембранами, представленных на рисунке 5.4. Каждая камера для медленного смешивания имеет рабочий объем  $V_{IRL} = 2600 \text{ м}^3$ , общий объем составляет  $V_{RL} = 5400 \text{ м}^3$  (2 линии x 1 камера). Соответствующее время быстрой реакции для различных рабочих расходов представлено в таблице 5.1.5.

**Таблица 5.1.5 - Время быстрой реакции для различных рабочих расходов**

Расход (м <sup>3</sup> /сутки)	Время быстрой реакции	
	(мин.)	(часов)
Q = 120,000 м <sup>3</sup> /сутки	65	1 час 5 мин
Q = 240,000 м <sup>3</sup> /сутки	32	0,54
Q = 300,000 м <sup>3</sup> /сутки	24	0,4



**Рисунок 5.4. - Вид на камеры для медленного смешивания**

Для всех расходов время быстрой реакции считается слишком большим.

Система мембран не может обеспечить изменение параметров реакции, что говорит о низкой эффективности процесса. Также имеются трудности при очистке системы такого типа.

При этом работа сооружений первой ступени очистки для маломутных и высокомутных вод не надежна и не эффективна. Это обуславливается тем, что процесс коагуляции протекает медленно или с трудностями из-за высокой мутности очищаемой воды, особенно в проливных сезонах, где уровень мутности достигает более чем на  $1000 \text{ мг/дм}^3$  [120].

Осаждение проводится в открытом бассейне с общим объемом  $V=228183 \text{ м}^3$ . На следующем рисунке представлен вид на отстойники.



**Рисунок 5.5. - Вид на отстойники 2-ой и 3-й ступеней**

Осадок удаляется из отстойников/БСР с использованием земснаряда и обратным сбросом в реку. Соответствующее время седиментации для различных операционных потоков представлено в следующей таблице.

**Табл. 5.1.6. Время седиментации для различных операционных потоков**

Пункт	Величина расхода (м <sup>3</sup> /день)	Время седиментации (в ч.)
1	Q = 120,000 м <sup>3</sup> /день	45.6
2	Q = 240,000 м <sup>3</sup> /день	22.8
3	Q = 300,000 м <sup>3</sup> /день	18.25

Операционные параметры времени для седиментации считаются стандартными для данной технологии.

Чистая вода транспортируется через 3 сифона в небольшой открытый резервуар и закрытые резервуары 2х2000 м<sup>3</sup> на ВОС ОССВ, где она дезинфицируется и подается в распределительную сеть.

## **5.2. Интенсификация процесса водоподготовки на очистной станции самотечного водопровода г. Душанбе**

На очистной станции самотечного водопровода города Душанбе при резком изменении состава исходной воды в период сильных дождей или весенних паводков усложняется процесс очистки воды. Существующая схема очистки включает первичное отстаивание и обеззараживания гипохлоритом натрия, коагуляцию сульфатом алюминия, осветление или отстаивание в слое осадка во взвешенном состоянии, процесс фильтрации через кварцевую песчаную загрузку и повторное обеззараживание гипохлоритом натрия.

Таким образом, следует подчеркнуть, что данная технология не действенна в сезонах паводка. При резком изменении состава исходной воды необходимо снизить показателя мутности на первой стадии обработки, иначе вся нагрузка переходит на сооружения фильтрации. В весенний паводок мутность воды реки Варзоб в ливневых сезонах достигает до 1500 мг/дм<sup>3</sup> и более.

Интенсивное поступление загрязняющих веществ с прилегающей территории наблюдается в период таяния снега и дождевых паводков [4-А]. Это отрицательно сказывается на экологической ситуации Варзобского бассейна без возможности естественного сброса ливневых и талых вод [4-А].

Вторым проектом водоснабжения города Душанбе налажена технологическая схема подготовки и дозировки коагулянта и флокулянта на ОССВ города Душанбе. Внедрение предлагаемого технического решения по совместному использованию современных флокулянтов с СА в сезонных колебаний показателей качества поверхностных вод позволит получать воду высокой степени очистки не только по мутности, но и по другим показателям ПДК питьевой воды.

Высокоэффективные флокулянты и коагулянты занимают важную роль в передовых технологических схемах водоочистки, они способствуют улучшению процесса осветления воды, снижению бактериальных и органических загрязнений [4-А].

На очистной станции самотечного водопровода города Душанбе исследовалась новая технология водоочистки с совместным применением местного коагулянта сернокислого алюминия и высокомолекулярного синтетического анионного флокулянта типа «POLY SEPAR AN 34 TW» с последующим осветлением в горизонтальных отстойниках с тонкослойными модулями [4-А].

Вызывает интерес использование анионного флокулянта типа «POLY SEPAR AN 34 TW», который имеет обеззараживающую и флокулирующую способность в водоподготовительных процессах. К тому же, применение флокулянта типа «POLY SEPAR AN 34 TW» в дозировке 0,5 - 1,0 мг/дм<sup>3</sup> на фильтрационном этапе очистки поверхностных вод дает возможность не только снизить цветность и мутность, но и общее число микробов от 10000 - 1000000 и до 100 клеток/мл, а также удалить загрязнения подобные тяжелым

металлам и железу, так как «Poly Separ» обладает пролонгированным бактерицидным действием.

С повышением уровня воды в весенний период паводка увеличивается содержание взвешенных веществ в реке Варзоб. В этот период за счет применения нового способа интенсификации процесса коагуляции на ОССВ, можно снижать весовой расход коагулянта сульфата алюминия с 60,0 до 20,0 мг/дм<sup>3</sup> (дозировка устанавливается по значению рН), предлагаемая дозировка флокулянта - 0,1-0,2 мг/дм<sup>3</sup>.

Летом можно отменить использование флокулянта, доза коагулянта в летний период составляет 10-20 г/м<sup>3</sup>.

В осенний период из-за дождей уровень воды в реке повышается и это приводит к ухудшению качества воды в ней. Снижаются щелочность 0,6-1,2 мг-экв/л; температура 0,5-16,5°С; состав взвешенных веществ 4,5-15,2 мг/л. Рекомендуемая доза коагулянта 10-20 мг/дм<sup>3</sup>; доза флокулянта 0,1-0,2 мг/дм<sup>3</sup>.

В зимнее время года резко понижается температура воды, значения приближаются к 0°С (0,3-5,0°С), доза коагулянта составляет 10-20 г/м<sup>3</sup>, появляется возможность отказаться от применения флокулянта, содержание взвешенных веществ 4,5-15,2 мг/дм<sup>3</sup>.

Совершенствование технологической схемы подготовки питьевой воды на ОССВ производилась по основным параметрам. Основными параметрами системы водоподготовки и дозирования коагулянта являются:

1) Поток исходной воды:

- минимальный расход воды:  $Q_{\text{мин}}=220\ 000\ \text{м}^3/\text{сут} =9,167\ \text{м}^3/\text{час} = 2,546\ \text{л/с}$ ;

- максимальный расход воды:  $Q_{\text{макс.}}=300\ 000\ \text{м}^3/\text{сут} =12,500\ \text{м}^3/\text{час} = 2,546\ \text{л/с}$ ;

2) Доза коагулянта – сульфата алюминия:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ :

- минимальная доза:  $D_{\text{мин}}= 10\text{г/м}^3$ ;

- средняя доза:  $D_{\text{ср}}= 40\text{г/м}^3$ ;

- максимальная доза:  $D_{\text{кмакс}} = 60 \text{ г/м}^3$ ;

3) Концентрация – сульфата алюминия:

- минимальная концентрация:  $C_{\text{мин}} = 3,2\%$ ;

- максимальная концентрация:  $C_{\text{макс}} = 15\%$ ;

Приготовление коагулянта производится в резервуарах, каждый объемом  $25 \text{ м}^3$ . Каждый резервуар оснащен электрическим смесителем. Концентрация раствора определяется лабораторией. Подача рабочего раствора коагулянта осуществляется в камеру быстрого смешивания, дозируется самотеком. Для усовершенствования процесса дозирования были выбраны насосы дозаторы. Работа насосов-дозаторов автоматизированная, в случае, если уровни в резервуарах превышают максимальный или ниже минимального установленного уровня, технологический компьютер выдаст визуальную и звуковую сигнализацию.

4) Доза анионного полимера (сорт питьевой воды):

- минимальная доза:  $D_{\text{пмин}} = 0,1 \text{ г/м}^3$ ;

- средняя доза:  $D_{\text{пср}} = 0,15 \text{ г/м}^3$ ;

- максимальная доза:  $D_{\text{пмакс}} = 0,2 \text{ г/м}^3$ ;

5) Концентрация раствора полимера:

- минимальная концентрация:  $C_{\text{мин}} = 0,1\%$ ;

- максимальная концентрация:  $C_{\text{макс}} = 0,5\%$ ;

Приготовление раствора флокулянта осуществляется в специальной полимерной установке POLYDOS 412-4000, GRUNDFOS. Рабочий раствор подается в обрабатываемую воду специальными дозирующими насосами, NOV MONO марки C23KC11RMA производительностью  $0,18-2,5 \text{ м}^3/\text{час}$ .

### **5.3. Расчет экономической эффективности результатов исследований**

При планировании и строительстве водоочистных сооружений одним из основных критериев является вопросы экономической эффективности внедрения новых технологий в системе питьевого водоснабжения [7-А].



Внедрение предлагаемого технического решения по совместному использованию современных флокулянтов Нитрофлок 215 и POLY SEPAR AN 34 TW с СА в период паводка позволит снизить расход коагулянта в 2-3 раза. Сочетание данных флокулянтов с коагулянтом на стадии предварительной обработки воды обеспечивает не только высокую степень очистки, но и экономическую эффективность [5-А], [7-А].

Самотечный водозабор является главным источником воды для города Душанбе и состоит из БСР и коагулянтного хозяйства для очистки. Коагулянт, используемый для обработки неочищенной воды, это сульфат алюминия. Коагулянт поставляют в больших полиэтиленовых контейнерах в твердом измельченном виде [7-А]. Концентрированный раствор сульфата алюминия заготавливают путем добавления в него воды. Концентрация раствора определяется лабораторией станции.

Раствор хранится в бассейнах, откуда вводится в камеры для быстрого смешивания раствора. Следует отметить, что нет измерения расхода сульфата алюминия, что определяет низкую точность дозирования и, следовательно, низкую эффективность этапа коагуляции-флокуляции.

Поток воды делится на две линии коагуляции и флокуляции, каждая состоящая из:

- двух камер для быстрого смешивания раствора в параллельной сборке;
- одной камеры для медленного смешивания с перегородками.

Камеры для быстрого смешивания снабжены электрическими мешалками с фиксированной скоростью. Заключительная дезинфекция производится с использованием гипохлорита натрия. Производство гипохлорита натрия осуществляется локально на современном заводе с помощью электролиза соли (NaCl). Производство на данном заводе полностью автоматизировано и функционирует с очень хорошими результатами.

Количество добавляемого коагулянта составляет около 30-150 мг/дм<sup>3</sup>. Проведенные исследования показывают, что при внедрении полученных результатов на очистной станции самотечного водопровода наряду с повышением эффективности осветления поверхностных вод и надежности системы водоочистных сооружений также достигается значимый экономический эффект при использовании предлагаемого полимера и технологии.

Относительно очистной станции самотечного водопровода города Душанбе с суточной производительностью  $Q_{сут.} = 300\,000\text{ м}^3/\text{сут}$  проводилась технико-экономическая оценка эффективности рекомендуемой технологии предочистки поверхностных вод с использованием новейших флокулянтов, сравнивая с традиционной технологией коагулирования. Количество коагулянта, использованного в 2020 году для очистки воды с традиционной технологией коагулирования на ОССВ, согласно данным Душанбе-водоканал (таблице 5.3.1.) составляет:

**Таблица 5.3.1 – Количество коагулянта, использованного в 2020 году, для очистки воды на ОССВ**

Наименование очистных сооружений	Объем производимой воды (млн. м <sup>3</sup> /год)	Расход коагулянта (тонна)
Очистная станция самотечного водопровода	109 500000	379,0

По расчету оцениваем экономическую эффективность использования коагулянта СА совместно с флокулянтами на стадии предварительной обработки воды очистной станции самотечного водопровода города Душанбе. Исходя из того, что затраты электроэнергии на дозировки реагентов, ресурс заработной платы рабочих и амортизационные отчисления равны по обоим вариантам, экономическую эффективность раскроем лишь по годовым эксплуатационным затратам на реагенты.

1. Согласно данным ГУП «Душанбеводоканал», коагулянт (сульфат алюминия) - 5% раствор добавляется в обрабатываемую воду каждые 30 минут.

По классическому способу обработки исходной воды коагулированием, годовые эксплуатационные затраты со средней дозой сернокислого алюминия  $D_k = 35 \text{ мг/дм}^3$  и его рыночной стоимости с учетом НДС  $C_{\text{год}} = 4000 \text{ смн/т}$  или  $4 \text{ смн/кг}$  составит:

$$Z_k = \frac{D_k \cdot Q_{\text{сут.}} \cdot T_{\text{год}}}{10^3} \cdot C_{\text{год}} = \frac{35 \cdot 300000 \cdot 365}{10^3} \cdot 4 = 1\ 533\ 000 \text{ смн.}$$

где  $T_{\text{год}}$  – число суток в году.

2. В питьевой водоподготовке полиакриламидные флокулянты вводятся в воде небольшими дозами ( $0,1-0,2 \text{ мг/дм}^3$ ), также раствор составляется с очень низкой концентрацией ( $0,1-0,5\%$ ). Основная задача коагуляционной очистки воды является выбор оптимальной дозы реагентов. В нашем случае, согласно экспериментальным данным пробного коагулирования, оптимальную дозу полимера принимаем  $D_n = 0,2 \text{ мг/дм}^3$ . По данным Лаборатории контроля качества воды ГУП «Душанбеводоканал» продолжительность сезонных колебаний показателей качества исходной воды, поступающая на ОССВ за 2020 год, составляет 65 дней. Годовые затраты на эксплуатацию полимера типа «Poly Separ AN 34 TW» по рекомендуемой технологии при его средней дозе  $D_n = 0,2 \text{ мг/дм}^3$  и его рыночной стоимости с учетом НДС  $C_{\text{год}} = 50\ 000 \text{ смн/т}$  или  $50 \text{ смн/кг}$  за период паводка составит:

$$Z_n = \frac{D_n \cdot Q_{\text{сут.}} \cdot T_{\text{год}}}{10^3} \cdot C_{\text{год}} = \frac{0,2 \cdot 300000 \cdot 65}{10^3} \cdot 50 = 19\ 500 \text{ смн.}$$

При этом также надо учесть эксплуатационные затраты коагулянта сульфата алюминия в период паводковых дней при средней дозе  $D_k = 20 \text{ мг/дм}^3$ , так как по предлагаемой технологии применяется их совместное применение:

$$Z_{k1} = \frac{D_{k1} \cdot Q_{\text{сут.}} \cdot T_{\text{год}}}{10^3} \cdot C_{\text{год}} = \frac{20 \cdot 300000 \cdot 65}{10^3} \cdot 4 = 156\ 000 \text{ смн.}$$

Годовые затраты на эксплуатацию коагулянта СА (кроме периода паводка в 65 дней) при средней дозе  $D_k=15,0$  мг/дм<sup>3</sup> и его рыночной стоимости с учетом НДС  $C_{yd.} = 4\ 000$  смн/т или 4 смн/кг составит:

$$Z_{k2} = \frac{D_{k2} \cdot Q_{cym.} \cdot T_{zod}}{10^3} \cdot C_{yd.} = \frac{20 \cdot 300000 \cdot (365 - 65)}{10^3} \cdot 4 = 720\ 000 \text{ смн.}$$

В итоге сумма годовых эксплуатационных затрат на коагулянт СА и полимер «Poly Separ AN 34 TW» по предлагаемой технологии составит:

$$\sum Z_2 = Z_n + Z_{k1} + Z_{k2} = 19\ 500 + 156\ 000 + 720\ 000 = 895\ 500 \text{ смн.}$$

Рассчитаем годовой экономический эффект от использования предлагаемой технологии водоподготовки:

$$\mathcal{E} = Z_1 - Z_2 = 1\ 533\ 000 - 895\ 500 = 637\ 500 \text{ смн.}$$

Ожидаемая годовая сумма экономии за счёт реагентов на ОССВ при применении полимера «Poly Separ AN 34 TW» совместно с СА может составить 637 500 сомони в год.

Результаты экономических затрат на реагенты от предлагаемой технологии (с применением современных флокулянтов совместно с коагулянтом СА) на очистной станции самотечного водопровода приводим в таблицах 5.3.2 и 5.3.3.

**Таблица 5.3.2 - Расчет затрат на реагенты с применением полимера «Poly Separ AN 34 TW» совместно с коагулянтом СА на ОССВ**

Наименование реагент	Доза, мг/дм <sup>3</sup>	Цена с учетом НДС (сомони), смн/т	Общая стоимость (сомони), смн/год
Коагулянт (Al <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	20	4000	876 000
Полимер «Poly Separ AN 34 TW»	0,2	50 000	19 500
Итого:			895 500

**Таблица 5.3.3 - Расчет затрат на реагенты с применением полимера «Нитрофлока 215» совместно с коагулянтом СА на ОССВ**

Наименование реагент	Доза, мг/дм <sup>3</sup>	Цена с учетом НДС (сомони), смн/т	Общая стоимость (сомони), смн/год
Коагулянт (Al <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	20	4000	876 000
Нитрофлок 215	0,2	80 000	31 200
Итого:			907 200

Результаты сравнительных экономических затрат и эффективности применения современных флокулянтов совместно с коагулянтом СА на ОССВ приведем в таблицу 5.3.4. Дозы на реагенты приняты по средних дозах коагулянта и флокулянтов при исходной мутности 1035 мг/дм<sup>3</sup>.

**Таблица 5.3.4 - Сравнительная таблица затрат и эффективности применения современных флокулянтов совместно с коагулянтом СА на ОССВ**

№ варианта	Коагулянт СА	Флокулянт		Экономические затраты, смн/г	Ожидаемый эффект экспериментальных исследований после 60 мин. осветления, %
		«Poly Separ AN 34 TW»	Нитрофлок 215		
1	+	-	-	1 533 000	78,3
2	+	+	-	895 500	92,4
3	+	-	+	907 200	98

Результаты экспериментальных исследований пробной коагуляции явились основой для расчета экономической эффективности комплексного использования коагулянта СА с флокулянтами на очистной станции самоотечного водопровода города Душанбе. Как видно из таблицы, в сезонах паводка затраты на реагенты при предварительной очистке воды коагулянтом СА совместно с флокулянтами ниже, чем затраты на применяемый в настоящее время сернокислого алюминия.

#### **5.4. Рекомендации для улучшения работы очистной станции самотечного водопровода**

1. Измерение расходов воды на входе и выходе из бассейнов предварительного осаждения и отстойников.
2. Использование дозирующих насосов для дозирования коагулянта пропорционально расходу и качеству сырой воды.
3. Использование полимеров в качестве флокулянта в процессе коагуляции – флокуляции в паводковый период.
4. Необходимо проводить очистку смесителей от скопившегося в нем осадка периодически в 10 дней 1 раз во время паводков, и в месяц один раз в остальное время года. Нельзя допускать засорения этим осадком систем распределения и его выноса на очередные сооружения как осветлители и фильтры.

#### **Выводы по главе 5**

1. Процесс коагуляции на очистных сооружениях города Душанбе протекает медленно или с трудностями из-за высокой мутности очищаемой воды, особенно в проливных сезонах, где уровень мутности достигает более чем  $1000 \text{ мг/дм}^3$ . Одной из передовых технологических схем водоочистки является совместное применение СА с новыми высокоэффективными органическими флокулянтами.

2. С повышением уровня воды в весенний период паводка, увеличивается содержание взвешенных веществ в реке Варзоб. В этот период за счет применения нового способа интенсификации процесса коагуляции на ОССВ можно снизить весовой расход коагулянта сульфата алюминия с  $60,0$  до  $20,0 \text{ мг/дм}^3$  (доза определяется по величине рН), рекомендуемые дозы флокулянта  $0,1-0,2 \text{ мг/дм}^3$ .

3. Экономическая эффективность коагуляции с совместным использованием данных флокулянтов в несколько раз больше, чем от использования

сернокислого алюминия. Годовая сумма экономии на очистной станции самотечного водопровода составляет 637 500 сомони.

4. Для точного дозирования коагулянта в соотношении с расходом и качеством сырой воды, простым решением является использование дозирующих насосов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Подтверждена целесообразность комплексного использования сульфата алюминия совместно с флокулянтами POLY SEPAR AN 34 TW и Нитрофлок 215 на стадии предварительной обработки поверхностных вод при сезонных колебаний.

2. Выявлено, что при совместном использовании коагулянта и флокулянтов при очистке поверхностных вод, доза коагулянта сульфата алюминия сокращается в нескольких раз. Установлен оптимальный состав смеси коагулянта и флокулянтов в зависимости от состава исходной воды в источнике.

3. Фиксирован ключевой показатель процесса седиментации, что оценивает результативность хода протекания коагуляции. На качество коагуляции эффективно влияет очередность введения коагулянта и флокулянтов.

4. Обоснован метод совершенствования действующего технологического процесса водоподготовки ОССВ города Душанбе, урегулированием подачи коагулянта и флокулянта.

5. Подтверждено влияние совместного использования коагулянта СА с флокулянтами на интенсификацию процесса осаждения воды.

6. Выявлено, что эффективность процесса осветления повышается на 5-10% при совместном применении сульфата алюминия с флокулянтами Нитрофлок 215 и POLY SEPAR AN 34 TW, в отличие от процесса коагуляции, проходящего традиционным способом с применением только одного коагулянта. Эффективность водоочистки зависит от показателей качества исходной воды при сезонных колебаниях и дозирование смеси коагулянта и флокулянта.

7. Установлено, что эффективность работы очистных сооружений достигается путём использования быстродействующего полимера типа «POLY SEPAR AN 34 TW» и флокулянта Нитрофлока 215 в качестве допол-



нительной флокуляции в первой ступени очистки. Следовательно, достигается достаточно высокая эффективность и надёжность системы фильтрации, увеличивается срок службы скорых фильтров.

8. Выявлено, что введение коагулянта в дозировке свыше 50 мг/л при совместном использовании с флокулянтами позволяет быстро получить хлопья осадка с хорошими седиментационными свойствами, которые минимизируют расходы, трудоемкость и проблемы, связанные с удалением осадка.

9. Разработано математическое моделирование процесса осветления воды с учетом продолжительности седиментации и концентрации растворов коагулянта и флокулянтов.

10. Выявлено, что экономический эффект без реконструкции очистных сооружений с введением современных реагентов в процессе седиментации на ОССВ города Душанбе достигается в размере 637 500 сомони в год.

11. Разработаны практические рекомендации для целесообразности совершенствования технологического процесса водоподготовки, с учетом сезонных колебаний показателей качества очищаемой воды на очистной станции самотечного водопровода города Душанбе.

### **Рекомендации по практическому использованию результатов и перспективы дальнейшей разработки предложенного научного направления.**

1. Предложенная технологическая схема подготовки и дозировки коагулянта и флокулянта на очистной станции самотечного водопровода города Душанбе позволяет усовершенствовать технологический процесс водоподготовки, с учетом сезонных колебаний показателей качества поверхностных вод [1 –А], [3 –А], [5 -А].

2. Полученные результаты экспериментальных исследований могут использоваться в реализации технологической схемы водоподготовки очистных станций. Введение современных реагентов в сочетании с коагулянтом СА в

процесс водоподготовки позволит получать воду высокой степени очистки по мутности, без остаточных содержаний токсичных соединений [2 –А], [3 –А], [4 –А], [5 –А].

3. Четкая последовательность действий, выполненная автором в определении экономической эффективности применения анионных и катионных флокулянтов совместно с СА при очистке высокомутных вод, может использоваться в учебных процессах при подготовке специалистов, а также в научных исследованиях [6 –А], [7–А], [8 –А].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, Н.Н. Водоснабжение [Текст] / Н.Н. Абрамов // М.: Стройиздат, 1982. – 440 с.
2. Абрамов, Н.Н. Водоснабжение [Текст] / Н.Н. Абрамов // М.: СТРОЙИЗДАТ, 1974. – С.123-129.
3. Абрамов, Н.Н. Надежность систем водоснабжения [Текст] / Н.Н. Абрамов // 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1984. – 216 с.
4. Ажгиревич, А.И. Интенсификация УФ-технологии обеззараживания воды для локализации негативных воздействий систем водоснабжения на окружающую среду [Текст] / А.И. Ажгиревич // дис.канд. техн. наук: 25.00.36. Новочеркасск, 2002. – 149 с.
5. Андрианов, А. П. Оптимизация процесса обработки воды методом ультрафильтрации / А. П. Андрианов, А. Г. Перов // Водоснабжение и санитар. техника. - 2003. - № 6. - С. 7-9.
6. Апельцина, Е. И. Исследование влияния свойств анионных флокулятов на эффективность коагуляционной очистки природных цветных вод / Е. И. Апельцина, С. Д. Беляева, Е. В. Коротково // Изв. жилщ.-комун. акад. Сер. «Городское хозяйство и экология». - 1999. - № 3.
7. Бабенков, Е. Д. Очистка воды коагулянтами [Текст] / Е. Д. Бабенков. – М.: «Наука», 1977. – 365 с.
8. Бадавлатова, Б.Х. Повышение эффективности работы сооружений водоподготовки на Очистной станции самотечного водопровода (ОССВ) города Душанбе / О.Х. Амирзода, Б.Х. Бадавлатова, П.Х. Муродов, З.В. Кобулиев // Политехнический вестник [Текст]. Серия: инженерные исследования. №3(51) – 2020. — С.122-129.
9. Баран, А. А. Флокуляция дисперсных систем водорастворимыми полимерами и ее применение в водоочистке / А. А. Баран, И. М. Соломенцева // Химия и технология воды. -1983. - Т. 5, № 2.
10. Белан, А.Е. Технология водоснабжения [Текст] / А.Е. Белан // К.: Наук. думка, 1985. - 264 с.
11. Бойкова, Т.Е. Применение коагулянта сернокислое железо при водоподготовке / Т.Е. Бойкова, Т.А. Килимник, А.С. Попова, Е.С. Кокина // Вопросы образования и науки: теоретические и практические аспекты: сборник статей международных научно-практических конференций НИЦ ПНК от 30 апреля 2018 г. Самара: ООО НИЦ «Поволжская научная корпорация», 2018. С.190-194.
12. Бойкова, Т.Е. Экспериментальные исследования современных реагентов повышения качества технической воды / Т.Е. Бойкова, А.С. Попова,

А.С. Кокина // Вопросы образования и науки: сборник статей международных научнопрактических конференций НИЦ ПНК от 30 ноября 2018 г. Самара: ООО НИЦ «Поволжская научная корпорация». С. 17-23.

13. Бойкова, Т.Е. Применение методов коагуляции в водоподготовке на целлюлозно-бумажных предприятиях [Текст] / Т.Е. Бойкова // Дис. канд. техн. наук: 05.21.03. – Архангельск, 2019. – С. 56-65.

14. Вейцер, Ю. И. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки воды [Текст] / Ю. И. Вейцер, Д. М. Минц // - М.: Стройиздат, 1975. – С.123-156.

15. Вода этики Марселино Ботин Водного Форума (2007), Королевской академии наук и Мадридского университета, Испания.

16. Водоснабжения и санитарии в сельских районах стран ВЕКЦА (2005) Финансирование водоснабжения и канализации в странах ВЕКЦА конференции министров экономики / финансов, окружающей среды и воды, и их партнеры из стран ОЭСР, Ереван, Армения. – 9с.

17. Гандурина, Л. В. Органические флокулянты в технологии очистки природных и промышленных сточных вод и обработки осадка / Л. В. Гандурина // Зарубеж. и отечеств. опыт в стр-ве: обзор, информ. Свод. т. Сер. «Инженерное обеспечение объектов строительства» / ВНИИТПИ. - 2000. - Вып. 2. - С. 1-59.

18. Ганичева, Л.З. Антропогенные воздействия на биотические сообщества Республики Калмыкия [Электронный ресурс] / Л.З. Ганичева, Л.А. Лисутина // «Инженерный вестник Дона», 2012, вып 3. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/995> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус. 20.

19. Герасимов, Г. Н. Процессы коагуляции-флокуляции при обработке поверхностных вод / Г. Н. Герасимов // Водоснабжение и санитар, техника. - 2001. -№3. -С. 26-31.

20. Гетманцев, С. В. Особенности механизма коагуляции и строения полиоксихлорида алюминия / С. В. Гетманцев, А.В. Сычев, Ф. И. Чуриков, С. В. Снигирев // Водоснабжение и санитар, техника. - 2003. - № 9. - С. 25-27.

21. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения: Справочник. 3-е изд. / Под ред. А.М. Курганова //М.: Стройиздат, 1986. – 440с.

22. Глобальный механизм (2009) Влияние изменения климата - Центральная Азия, доступны также по адресу: <http://www.ifad.org/events/apr09/impact/central.pdf>.

23. Говорова, Ж.М. Обоснование и разработка технологий очистки природных

вод, содержащих антропогенные примеси [Текст] / Ж.М. Говорова // Дис. д-ра. техн. наук: 05.23.04. – Москва, 2004. – 389 с.

24. Гончаренко, Д. Ф. Эксплуатация, ремонт и восстановление трубопроводов водоснабжения [Текст] / Д. Ф. Гончаренко, Х. Вевелер, А. И. Алейникова // Х.: Раритеты Украины, 2015. – 280 с.

25. ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений.

26. Гриценко, Ю.Н. Комплексное использование водных ресурсов и охрана окружающей среды [Текст] / Ю.Н. Гриценко, Л.А. Волков // К.: УМК ВО, 1989. – 216 с.

27. Гришин, Б. М. Реагентная обработка поверхностных природных вод алюмосодержащими коагулянтами [Текст]: моногр. / Б. М. Гришин [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 140 с.

28. Гузынин, А.И. Некоторые вопросы оптимизации водопроводных сетей [Текст] / А.И. Гузынин, А.М. Курганов // Полтавский инж. строит. ин-т. - Полтава, 1981. – Деп. в ВИНТИ №2698. – 24 с.

29. Денисов, В.В. Повышение эффективности обеззараживания питьевой воды [Текст] / В.В. Денисов, А.П. Москаленко // В: Ві Гутенев. – Новочеркасск: НГМА. -1999. – 70с.

30. Долгоносков, Б. М. Барьерная роль водопроводных станций в условиях повышенного загрязнения водоисточников / Б. М. Долгоносков // Сантехника. - 2004. - № 5.

31. Драгинский, В.Л. Методики проведения технологических изысканий и моделирования процессов очистки воды на водопроводных станциях [Текст] / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева // М.: НИИ КВОВ, Водкоммунтех. 2001.

32. Драгинский, В. Л. Комплексный подход к решению технологической схемы очистки воды на Окском водозаборе г. Калуги / В. Л. Драгинский, Л. П. Алексеева, А. В. Моисеев, В. Ф. Кутахин [и др.] // Водоснабжение и санитар. техника. - 2003. - № 8. - С. 14-17.

33. Драгинский, В.Л. Коагуляция в технологии очистки природных вод [Текст] / В.Л. Драгинский, А.П. Алексеева, С.В. Гетманцев // Науч. изд. М., 2005. - 576 с.

34. Евдокимов, А.Г. Оптимальные задачи на инженерных сетях [Текст] / А.Г. Евдокимов // Харьков: Вища шк., 1976. – 153 с.

35. Епифанцева, М.Я. Интерполяционная формула Лагранжа: Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов всех специальностей факультета ИСУ [Текст] / М.Я. Епифанцева // Сост.– Омск: Изд-во СибАДИ, 2008. – 16 с.

36. Ефимов, К. М. Дезинфицирующие флокулянты для очистки и обез-

зараживания питьевых и сточных вод / К. М. Ефимов, П. А. Гембицкий, И.В. Дюмаева, Н. И. Данилова // Водоснабжение и санитар, техника. - 2005. - № 4. - С. 13-17.

37. Журба, М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. Том I [Текст] / М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова // Москва, издательство Ассоциации строительных вузов – 2003. – С. 97-106.

38. Журба, М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. Том II [Текст] / М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова // Москва, издательство Ассоциации строительных вузов – 2003. – 106 с.

39. Захаров, В. Р. Применение флокулянта Floquat FL-45С для водоподготовки на МУП «Водоканал» г. Омска / В. Р. Захаров, В. С. Шевченко // Водоснабжение и санитар, техника. - 2004. - № 10. - С. 31-32.

40. Зуев, К.И. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения [Текст] / К.И. Зуев // ВлГУ. – Владимир, 2016. – 224 с.

41. Ильин, Ю.А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования [Текст] / Ю.А. Ильин // М.: Стройиздат, 1985. – 241 с.

42. Исаев, В.Н. Структура водопотребления в хозяйственно-питьевом водоснабжении [Текст] / В.Н. Исаев, М.Г. Мхитарян // Водоснабжение и санитарная техника. — 1991. – №6. – С.16–17.

43. Источник доступна на <http://www.ozodi.org>

44. Каримов, Р.Х. Программное обеспечение расчетов систем водоподдачи / Р.Х. Каримов // Водоснабжение и санитарная техника. 1995. — №11. – С.26–27.

45. Карюхина, Т.А. Химия воды и микробиология. 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] / Т.А. Карюхина, И.Н. Чурбанова // М.: Стройиздат, 1983. – 168с.

46. Кастальский, А.А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения [Текст] / А.А. Кастальский, Д.М. // Минц М.: Изд. Высшая школа, 1962. – 558с.

47. Кастальский, А. А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения / А. А. Кастальский, Д. М. Минц. - М.: Высш. шк., 1962. - 558 с.

48. Кирсанов, М.В. Экономический расчет водопроводных сетей [Текст] / М.В. Кирсанов // Л.: МКХ РСФСР, 1949. – 198с.

49. Кожин, В.Ф. Водоснабжение [Текст] / В.Ф. Кожин // Государственное издательство строительной литературы, 1948. – 123-129с.

50. Кожин, И.В. Метод оценки скрытых утечек воды из водопроводных сетей [Текст] / И.В. Кожин, Р.Г. Добровольский // Водоснабжение и санитарная техника. –1981. – №10. – С.3–5.

51. Кожин, И.В. Наладка и интенсификация работы городских систем подачи

и распределения воды [Текст] / И.В. Кожин, В.В. Колесов, М.П. Майзельс, И.С. Эгильский // М.: Стройиздат, 1978. – 112 с.

52. Колмогоров, А.Н. Локальная структура турбулентности несжимаемой вязкой жидкости [Текст] / А.Н. Колмогоров // Докл. АН СССР. – 1941. – Т.30. – №4. – С.299-303.

53. Контроль качества воды, Москва, ИНФРД-М, 2009г, – 24 с.

54. Кротов, А.П. Применение флокулянтов для интенсификации осаждения примесей в водоочистке [Текст] / А.П. Кротов, А.П. Маслов, Т.В. Дубровская // III Международный конгресс «Вода: экология и технология». – М., 1998. – 418с.

55. Кузнецов, Ю.В. Основы очистки воды от радиоактивных загрязнений [Текст] / Ю.В. Кузнецов, В.Н. Щebetковский, А.Г. Трусов // М.: Атомиздат, 1974. – 360с.

56. Кульский, Л.А. Математическое моделирование систем водоснабжения [Текст] / Л.А. Кульский, В.Вас. Иванов, В.Вл. Иванов, В.М. Рогов // К.: Наук. думка, 1986. – 117с.

57. Кульский, Л.А. Технология очистки природных вод [Текст] / Л.А. Кульский // Киев: Вища школа, 1986. – 250с.

58. Кульский, Л.А. Физико-химические основы очистки воды коагуляцией [Текст] / Л. А. Кульский, А.М. Когановский, И. Г. Гороновский [и др.]. // Киев: АН УССР, 1950. – 108с.

59. Кульский, Л.А., Накорчевская В.Ф. Химия воды: Физико-химические процессы обработки природных и сточных вод [Текст] / Л.А. Кульский, В.Ф. Накорчевская // К.: Вища шк., 1983. – 240с.

60. Куренков, В. Ф. Эффективность флокулянтов и коагулянтов при раздельном и совместном применении в модельных системах / В. Ф. Куренков, С. В. Снигирев, Ф. И. Чуриков // Бутлеровские сообщения. - 2005. - Т. 6, № 1. - С. 60-63.

61. Латимер, В. Окислительные состояния элементов и их потенциалы в водных растворах [Текст] / В. Латимер // М.: Изд-во иностр. лит, 1954. – 396 с.

62. Линевиц, С.И. Совершенствование технологий подготовки питьевой воды на донских водопроводах [Текст] / С.И. Линевиц // Водоснабжение и сан. техника. – 2001 № 9. – С.2-5.

63. Линник, Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. ГИФ-математической литературы [Текст] / Ю.В. Линник // Москва - В1, Ленинский проспект, 1962. – 352 с.

64. Лисутина, Л.А., Ганичева Л.З. Оценка состояния природных ресурсов Восточного Донбасса [Электронный ресурс] / Л.А. Лисутина, Л.З. Гани-

чева // «Инженерный вестник Дона», 2012, вып 3. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/997> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

65. Лукашевич, О. Д. Вопросы экологической безопасности использования озона в водоподготовке / О. Д. Лукашевич // Вода и экология. - 2003. - №4. - С. 3-7.

66. Ляшенко, Н.В. Пути повышения безопасности систем водоснабжения в населенных пунктах [Текст] / Н.В. Ляшенко // Изв. Орловск. гос. техн. ун-та. Сер. Строит-во. Транспорт. - 2009. - № 1/21 (553). – С.68 – 72.

67. Марамов, М. Б. Установка для предварительного безреагентного осветления высокомутных вод [Текст] / М. Б. Марамов // Дис. канд. техн. наук: 05.23.04. – Душанбе, 2020. – С. 99-103.

68. Мартынова, О. И. Некоторые закономерности удаления органических примесей природных вод путем коагуляции / О. И. Мартынова // Вопросы проектирования и эксплуатации водоподготовительных установок. - М., 1955. - С. 192.

69. Минц, Д. М. Теоретические основы технологии очистки воды [Текст] / Д. М. Минц // М.: Стройиздат, 1964. – 156 с.

70. Михайлов, В.А. Применение катионного флокулянта ВПК-402 на водопроводе г. Ростов-на-Дону [Текст] / В.А. Михайлов, А.В. Бутко, В.А. Лысов, А.А. Моктар // Водоснабжение и санитарная техника.1997. – №7. – С.21-22.

71. Михеев, Н.Н. Водные ресурсы и пути решения проблемы водоснабжения в России [Текст] / Н.Н. Михеев, А.Ф. Порядин, Соер Герт, А.И. Кунахович // Водоснабжение и санитарная техника. – 2000. – №4. – С.5–9.

72. Мошнин, Л.Ф. Методы технико-экономического расчета водопроводных сетей [Текст] / Л.Ф. Мошнин // М.: Стройиздат, 1950. – 144 с.

73. Мясников, И. Н. Исследование процессов коагуляции при очистке воды поверхностных источников / И. Н. Мясников, В. А. Потанина, З. И. Жолдакова, Т. З. Артемова // Водоснабжение и санитар, техника. - 2003. - № 9. - С. 13-15.

74. Назаров, В. Д. О применимости нормативов качества питьевых вод [Текст] / В. Д. Назаров // Водоснабжение и санитар. техника. – 2005. – №3. – С.48–55.

75. Никанорова, А. М. Комплексные оценки качества поверхностных вод [Текст] / А. М. Никанорова, В. Р. Лозанский, Г. Н. Данилова и др. // Ленинград: Гидрометеоиздат, 1984. – 3 с.

76. Никитин, А.М. Некоторые аспекты очистки маломутных высокоцветных вод [Текст] / А.М. Никитин, П.В. Курбатов // Водоснабжение и са-



нитарная техника. – 1999. – №3. – С.35-41.

77. Николадзе, Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение. Учебник для вузов [Текст] / Г.И. Николадзе, М.А. Сомов // Москва, Стройиздат 1995. –С.123-129.

78. Николадзе, Г.И. Подготовка питьевой воды [Текст] / Г.И. Николадзе // М.: Стройиздат, 1984. – 597 с.

79. Николадзе, Г. И. Технология очистки природных вод [Текст] / Г. И. Николадзе. – М.: Высшая школа, 1987. – 480 с.

80. Норматовы, И.Ш. Текущее состояние водоснабжения и улучшения санитарных условий в Республике Таджикистан / И.Ш. Норматов, Н. Кароматуллоев, И. М. Рахимов // г. Душанбе, 2010.

81. Остапенко, В. Т. Применение порошкообразного клиноптилолита при коагулировании поверхностных вод / В. Т. Остапенко, А. Е. Кулишенко, Н. А. Синельник, Т. Б. Кравченко // Водоснабжение и санитар, техника. - 1994. - № 5.

82. Пааль, Л.Л. Справочник по очистке природных и сточных вод [Текст] / Л.Л. Пааль, Я.Я. Кару, Х.А. Мельдер, Б.Н. Репин. – М.: Высшая школа, 1994. – 336 с.

83. Пат. 2084410 Российская Федерация МПК С02F1/52 Способ очистки воды коагуляцией [Текст] / Мигалатий Е.В.; Никифоров А.Ф.; Браяловский Б.С.; Южанинов А.Г.; Холкин П.В.; Холкина Е.А.; заявитель и патентообладатель Товарищество с ограниченной ответственностью «БМБ» г. Екатеринбург. - № 95112861/25; заявл. 20.07.1995; опубл. 20.07.1997, Бюл. № 11. – 5 с.

84. Пат. 2142419 Российская Федерация, МПК С02F1/24, С02F1/52 Способ очистки маломутных цветных вод [Текст] / Чудновский С.М., Мирнова Н.Л.; заявитель и патентообладатель Вологодский политехнический институт. - № 2022234596/04; заявл. 12.02.1998; опубл. 10.12.1999, Бюл. № 23. – 6 с.

85. Пат. 2529536 Российская Федерация МПК С02F1/52, С02F1/56, В01D21/01 Способ получения водорастворимого реагента для очистки природных и сточных вод и разделения фаз [Текст] / Радченко С.С., Новаков И.А., Радченко Ф.С., Озерин А.С.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ). - № 2012155929/05; заявл. 21.12.2012; опубл. 27.06.2014, Бюл. № 27. – 9 с.

86. Пат. 2523480 Российская Федерация МПК С02F9/04, С02F1/28,

C02F1/52 Способ очистки воды [Текст] / Совинье Филипп, Гед Абделькадер ; заявитель и патентообладатель ВЕОЛИЯ УОТЕР СОЛЮШН энд ТЕКНОЛОДЖИС СЭПОРТ (FR). - № 2011134594/05; заявл. 10.03.2013; опубл. 20.07.2014, Бюл. № 7. – 14 с.

87. Петросов, В.А. Управление региональными системами водоснабжения [Текст] / В.А. Петросов // Харьков: Основа, 1999. – 320 с.

88. Привалова, Н. В. Повышение надежности и эффективности работы объектов питьевого водоснабжения с использованием современных реагентов [Текст] / Н. В. Привалова // Дис. канд. техн. наук: 05.23.04. – Нижний Новгород, 2008. – С. 12-17.

89. ПРООН-водного сектора Стратегия развития в Таджикистане (2006) Министерства мелиорации и водного хозяйства в Таджикистане. – 18с.

90. Рафф, П. А. Технология контактного осветления воды в условиях Волжского водозабора г. Казани [Текст] / П. А. Рафф, А. В. Селюков, И. С. Байкова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. - № 6. – С. 25-34.

91. Ребиндер, П. А. Кинетика процесса коагуляции / П. А. Ребиндер, Е.Д. Щукин // Коллоид, журн. - 1958. - Т. 20, № 5. - С. 527.

92. Региональный обзор систем водоснабжения и канализации в странах Центральной Азии и Южного Кавказа (2009) – 11 с.

93. Руководство по химическому и технологическому анализу воды. М.: Стройиздат, ВНИИ ВОДГЕО, 1973г. 273 с.

94. Самарский, А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры [Текст] / А.А. Самарский, А.П. Михайлова // М.: Наука, Физмат, 1997. – 320с.

95. СанПиН 2.1.4.004-07. «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарные правила и нормы. – 4-7 с.

96. Саттаров, М.А. Гидромеханические аспекты изучения структуры турбулентного потока с поперечным сдвигом в каналах и пористых средах [Текст] / М.А. Саттаров // Вісник Харківського національного університету. - Харьков, 2009. – №863. – С.190-201.

97. Саттаров, М.А. Некоторые модели фильтрации в пористых средах [Текст] / М.А. Саттаров // Докл. АН СССР. – 1972. -Т.203. – №1. – С.54-57.

98. Сколубович, Ю. Л. Питьевое водоснабжение города Кемерово из подземных источников [Текст] / Ю. Л. Сколубович, Т. А. Краснова // ОАО "Кемвод". – М.: [б. и.], 2001.

99. Сколубович, Ю.Л. Повышение эффективности водопроводных станций [Текст] / Ю.Л. Сколубович, Е.Л. Войтов, А.М. Никитин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – №2. – С.123-129.

100. Сомов, М.А. Водопроводные системы и сооружения [Текст] / М.А. Сомов // Стройиздат, 1988. – С.123-129.
101. Стратегия развития водного сектора Таджикистана, Душанбе, май 2006г. – С.24-25.
102. Тихонова, Е. А. Использование органических коагулянтов для подготовки питьевой воды / Е. А. Тихонова, А. С. Усачев // Водоснабжение и санитар. техника. - 2004. - № 9. - С. 33-34.
103. Тугай, А. М., И. Т. Прокопчук. Водоснабжение из подземных источников [Текст] / А. М. Тугай, И. Т. Прокопчук // М.: Стройиздат 1990 г. – С.123-129.
104. Храменков, С.В. Использование современных коагулянтов и флокулянтов в системе Московского водопровода [Текст] / С.В. Храменков, А.В. Коверга, О.Е. Благова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2001. – №3. – С. 5-7.
105. Холматов, А.П. Национальный доклад о региональном водном партнерстве [Текст] / А.П. Холматов, Я.Е. Пулатов // Республика Таджикистан, Душанбе, 2008. – 3с.
106. Шарипов, Ш. К. Интенсификация процесса осветления р. Варзоб с применением активированной кремниевой кислоты [Текст] / Ш.К. Шарипов // Дис. канд. техн. наук: 05.23.04. – Душанбе, 2014. – С. 14-18.
107. Шевченко, В.С. Повышение качества питьевой воды [Текст] / В. С. Шевченко, В. Р. Захаров // Водоснабжение и санитарная техника. – 2005. – № 2. – Ч. 2. – С. 5-7.
108. Шутько, А.П. Очистка воды основными хлоридами алюминия [Текст] / А.П. Шутько, В.Ф. Сороченко, Я.Б. Козликовский, В.И. Гречко – Киев: Техника, 1984. – 136 с.
109. Яковлев, С.В. Совершенствование водоочистных технологий для реализации нормативов качества питьевой воды [Текст] / С.В. Яковлев, Е. В. Мясникова, И.Н. Мясников // Водоснабжение и сан. техника. –1999. – № 5. – С. 9-10.
110. Aradhi K. Krishna, M. Satyanarayanan, Pradip K. Govil, Assessment of heavy metal pollution in water using multivariate statistical techniques in an industrial area: A case study from Patancheru, Medak District, Andhra Pradesh, India Journal of Hazardous Material Volume 167, Issues 1–3, 15 August 2009, Pages 366–373.
111. GWCC – General Water Consult Corp. Оценка потребления и прогноз спроса на воду до 2020 года. – Заключительный отчет. — 178 с.
112. <https://ru.sputnik-tj.com/country/20170920/1023378445/plokhoye->

[sostoyaniye-vody-tadzhikistan-doklad.html](http://sostoyaniye-vody-tadzhikistan-doklad.html)

113. A. A. Klenkin, S. A. Agapov. Dynamics of oil product distributions in water and bottom sediments of the sea of Azov and the Black Sea after ship accidents in the Kerch Strait Water Resources March 2011, Volume 38, Issue 2, pp 220-228.

114. Krkemeyer, K. Kapitel Zementgebundene Werkstoffe (Beton, Stahlbeton, Spannbeton), im Fachbuch «Rohrleitungen», Hrsg. Horlacher / K. K. rkemeyer. – Springer-Verlag Heidelberg, 2015 – 78 p.

115. Part polymeric-part inorganic coagulant. Заявка 2322128 Великобритания. C02F1/56, заявл. 18.02.97, опубл. 19.08.98.

116. Shirasaki N, Matsushita T, Matsui Y, Oshiba A, Marubayashi T, Sato S. Improved virus removal by high-basicity polyaluminum coagulants compared to commercially available aluminum-based coagulants. Water Res. 2014 Jan 1; 48:37586. Epub 2013 Oct 9.

117. SNF Floerger. [http://www.snf-group.com/images/pdf/Brochures\\_in\\_English/Water%20Soluble%20Polymers%20E.pdf](http://www.snf-group.com/images/pdf/Brochures_in_English/Water%20Soluble%20Polymers%20E.pdf).

118. Van Benschoten, John E. and Edzwald, James K. Chemical aspects of coagulation using aluminum salts II. Coagulation of fulvic acid using alum and polialuminum chloride. Water research, vol.24, No12, pp. 1527-1535.

119. Van Benschoten, John E. and Edzwald, James K. Chemical aspects of coagulation using aluminum salts - I. Hydrolytic reactions of alum and polyaluminum chloride. Water research, vol.24, No12, pp.1519-1526.

120. SETEC Engineering // Техико – экономическая оценка проекта «Водоснабжение и санитария». – г. Душанбе: Заключительный отчет. — 307с.

#### **Авторские публикации.**

**Статьи в изданиях, рекомендуемые ВАК при Президенте Республики Таджикистан.**

[1-А] Бадавлатова Б.Х. Уменьшение потерь воды в городских системах водоснабжения / О.Х. Амирзода, Б.Х. Бадавлатова // Политехнический Вестник. Серия инженерных исследований. - 2019. - №4(48). – С. 144-147.

[2-А] Бадавлатова Б.Х. Фильтры-поглотители для резервуаров чистой воды / Б.Х. Бадавлатова // Политехнический Вестник. Серия инженерных исследований. - 2020. - №3(51). – С. 107-112.

[3-А] Бадавлатова Б.Х. Повышение эффективности работы сооружений водоподготовки на Очистной станции самотечного водопровода (ОССВ) города Душанбе / О.Х. Амирзода, Б.Х. Бадавлатова, П.Х. Муродов,

З.В.Кобулиев. // Политехнический Вестник. Серия инженерных исследований. - 2020. - №3(51). – С. 122-129.

**[4-А] Бадавлатова Б.Х.** Интенсификация процесса очистки природных вод с применением флокулянта / О.Х. Амирзода, **Б.Х. Бадавлатова**, З.В. Кобули. // Инженерный вестник Дона - 2021. - №3(2021). – [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6857](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6857).

*Статьи в материалах конференции.*

**[5-А] Бадавлатова Б.Х.** Совершенствование процесса предварительного осветления питьевой воды с применением современных флокулянтов / Б.Х. Бадавлатова // Политехнический Вестник. Серия инженерных исследований. - 2021. - №4(56). – С. 85-92.

**[6-А]. Бадавлатова Б.Х.** Численное моделирование задачи процесса осветления питьевой воды / **Б.Х. Бадавлатова**, И. Каландарбеков, О.Х. Амирзода, Ш.А. Саидов // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XIX Межд. НПК В 2 ч.Ч.1.–Пенза: - 2021г.–с.75-81

**[7-А]. Бадавлатова Б.Х.** Расчет экономической эффективности внедрения новых полимеров по улучшению воды питьевого качества / **Б.Х. Бадавлатова**, О.Х. Амирзода, З.В. Кобули // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XIX Межд. НПК В 2 ч.Ч.1. –Пенза: - 2021г.–с.81-85.

**[8-А]. Бадавлатова Б.Х.** Анализ состояния системы водоснабжения и водоотведения города Вахдат/**Б.Х. Бадавлатова**, Н.М. Мухибуллоев, З.А. Набиев, О.Х. Амирзода// Журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология»: материалы Республиканской научно-практической конференции «Водохозяйственный комплекс: проблемы и пути их решения», г. Душанбе, 6 мая 2022 г., Т.2, №1. С.9-15.

**[9-А]. Бадавлатова Б.Х.** Математическое моделирование процесса осветления поверхностных вод/ **Б.Х. Бадавлатова**, О.Х. Амирзода, И. Каландарбеков // Журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология»: материалы международной научно-практической конференции «Водная безопасность – основа устойчивого развития» (5-6 октября 2022 года, г. Душанбе, Республика Таджикистан) Часть 2. С.12-17.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

### **ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

#### **ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

«УТВЕРЖДАЮ»

Главный инженер ГУП

«Душанбе водоканал»

Шарипов А.

2021г.



**АКТ**

о внедрении результатов научно-исследовательских работ Бадавлатовой Бунафши Худоёровны на тему «Совершенствование процесса предварительного осветления питьевой воды (на примере Очистой станции самотечного водопровода города Душанбе)» и Амирзоды Орифа Хамид на тему «Научно-прикладные основы водопользования и гидрохимические особенности управления водными ресурсами Республики Таджикистан»

Комиссия в составе Начальника департамента по воде ГУП «Душанбе водоканал» Хакимов Х. - председатель; члены комиссии: начальник лаборатории ГУП «Душанбе водоканал» Кароматуллоевой Н.С.; зав. лабораторией «качества вод, гидро и биогеохимии» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана (ИВП,ГЭиЭ НАНТ), к.т.н. Шаймурадов Ф.И.; с.н.с. лаборатории «качества вод, гидро и биогеохимии» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана Рахимов И.М. и аспирант кафедры «Водоснабжение и водоотведение» Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими Бадавлатовой Б.Х. свидетельствуют о том, что при личном участии авторов научно-исследовательских работ, была изучена реагентная технология, применяемая для подготовки питьевой воды на водоочистных станциях из поверхностных источников города Душанбе. Также исследованы возможности совместного применения коагулянта и современного флокулянта, с целью повышения эффективности водоподготовки. Данные исследования и режимные наблюдения можно применять для определения

изменения физико-химических характеристик поверхностных вод источников водоснабжения города Душанбе.

Дозу коагулянта и флокулянта для осветления воды реки Варзоб определялись пробным коагулированием, рекомендуемая доза флокулянта составляет: 0,1-0,2 мг/дм<sup>3</sup> и степень очистки воды от взвешенных веществ достигает 93-98%.

Современный реагент минимизирует в воде растворенных металлов (алюминия или железа), не изменяет рН воды, значительно сокращает объем образуемого осадка. При этом применение данного флокулянта на базе полимеров позволяет не только удалить из воды взвешенные и растворимые вещества, но и производит ее обеззараживание.

## **ВЫВОДЫ**

Разработанные технологические решения для осветления поверхностных вод позволяют проводить подготовку воды, как для питьевых, так и для производственных целей, что обеспечит экономически эффективное и экологически безопасное водопотребление. По анализу данных выяснилось, что совместное применение коагулянта на основе сульфата алюминия и полимера типа «POLY SEPAR AN 34 TW» является перспективным направлением в совершенствовании интенсификации процессов очистки поверхностных вод по сезонам. Независимо от высоких значений мутности, эффект осветления достигается уже при дозе флокулянта 0,1 мг/дм<sup>3</sup> и далее.

По результатам исследования делаем вывод, что при содержании в воде высоких показателей мутности применение коагулянта в сочетании с флокулянтом типа «POLY SEPAR AN 34 TW» наиболее эффективно по сравнению с традиционным методом, о чем говорит высокая степень очистки.



Разработаны рекомендации для модернизации схем водоподготовки и улучшения реагентной системы на Очистной станции самотечного водопровода ГУП «Душанбеводоканал».

**Председатель комиссии:**

Начальник департамента по воде  
ГУП «Душанбе водоканал»



Хакимов Х.

**Члены комиссии:**

Начальник лаборатории  
ГУП «Душанбе водоканал»



Кароматуллоева Н.С.

Зав. лабораторией «качества вод, гидро-  
и биогеохимии» ИВП,ГЭиЭ НАНТ, к.т.н.



Шаймурадов Ф.И.

с.н.с. лаборатории «качества вод, гидро-  
и биогеохимии» ИВП,ГЭиЭ НАНТ



Рахимов И.М.

аспирант кафедры «ВиВ»  
ТТУ им.акад.М.С.Осими



Бадавлатова Б.Х.

ДОРАНДАИ ОРДЕНИ ДУСТИИ ХАЛҚО  
АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ  
ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН  
Институти масъалаҳои об,  
гидроэнергетика ва  
экология



ОРДЕНА ДРУЖБЫ НАРОДОВ  
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ  
НАУК ТАДЖИКИСТАНА  
Институт водных  
проблем, гидроэнергетики  
и экологии

734042, ш. Душанбе, кӯчаи Айни, 14А, тел: 222 23 64 734042, г. Душанбе, ул. Айни, 14А, тел: 222 23 64  
www.imoje.tj E-mail: info@imoje.tj

аз «07» 07 2021 с., № 1/01

«УТВЕРЖДАЮ»  
Заместитель директора по науке и учебной работе Института  
водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ  
к.т.н. Курбонов Н.Б.

« 07 » 07 2021 г.

#### АКТ

о внедрении научных результатов диссертационной работы Бадавлатовой Бунафши Худоёровны на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.04. - Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов на тему: «Совершенствование процесса предварительного осветления питьевой воды (на примере Очистной станции самотечного водопровода города Душанбе)» в учебный процесс по подготовке магистров и докторов PhD при Институте водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана (ИВП, ГЭиЭ НАНТ).

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана в составе Председателя комиссии — заместителя директора по общим вопросам ИВП, ГЭиЭ НАНТ, к.т.н. Эмомова К.Ф., членов комиссии: Зав. лаборатории «Качество воды, гидро и биогеохимия» к.т.н. Шаймурадова Ф.И., Ученый секретарь Института к.т.н. Ахмадова А. и зав. научно-образовательного сектора Боева Р.Д. составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы аспирантки кафедры «Водоснабжение и водоотведение» Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими Бадавлатовой Б.Х. на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.04. - Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов внедрены в реализацию учебного процесса подготовки магистров и докторов PhD по специальностям 1М-33.01.01.01- «Экология», 6D061000- «Гидрология» и 6D060800- «Водные ресурсы и их использование», 1М-70.04.01.01 —«Гидротехнические сооружения».


Результаты диссертационного исследования *Бадавлатовой Б.Х.* могут быть использованы в лекционных курсах, практических и лекционных занятиях.

Настоящим подтверждаем, что результаты диссертационного исследования *Бадавлатовой Б.Х.* на тему: «*Совершенствование процесса предварительного осветления питьевой воды (на примере Очистой станции самотечного водопровода города Душанбе)*» обладают актуальностью, представляют практический интерес, а также позволяют значительно улучшить качество подготовки магистров и докторов PhD.

По итогам проведенных научно-исследовательских работ диссертантом достигнуты следующие положительные результаты: проведен литературный обзор и теоретические исследования процесса осветления питьевой воды, исследована реагентная очистка питьевой воды в период паводка, получены экспериментальные данные процесса предварительного осветления воды, установлены математические зависимости основных параметров процесса, выявлена экономическая эффективность реагентного осветления питьевой воды, совместным применением традиционного коагулянта и современного флокулянта, разработаны рекомендации для модернизации схем водоподготовки и улучшения реагентной системы на Очистой станции самотечного водопровода ГУП «Душанбеводоканал».

**Председатель комиссии:**

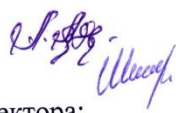
Заместитель директора по общим вопросам  
ИВП, ГЭиЭ НАНТ:



к.т.н. Эмомов К.Ф.

**Члены комиссии:**

Ученый секретарь Института:  
Зав. лаборатории:  
Зав. научно-образовательного сектора:



к.т.н. Ахмадов А.

к.т.н. Шаймурадов Ф.И.

Боев Р.Д.

Подписи *Эмомова К.Ф., Ахмадова А., Шаймурадова Ф.И. и Боева Р.Д.*  
заверяю:

Начальник отдела кадров и делопроизводства  
« 07 » 4 июля 2021 г.



З.Д. Холназарова

669801

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ**  
**«ДУШАНБЕВОДОКАНАЛ»**  
**ЛАБОРАТОРИЯ**  
**ЦЕНТРА КОНТРОЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ**  
**РЕЗУЛЬТАТЫ**

физико-химических и бактериологических показателей воды.

№	Наименование показателей	Норма по ГОСТу 2874-82 «Вода питьевая»	Результаты анализа р.Варзоб		
			2019г	2020г	2021г.
1	Прозрачность (см <sup>3</sup> )	не менее 30	30 - 0	30 - 0	30 - 0
2	Мутность (мг/л)	не более 2,0	3,4 - 2375	3,4 - 2257	2,2 - 2690
3	Температура (градусы)	не более 20	12 - 20 0	20,6 - 15,9 0	20 - 13 0
4	Запах (баллы)	не более 2,0	0	0	0
5	Привкус (баллы)	не более 2,0			
6	Водородный показатель (рН)	6,0 - 9,0	7,5 - 8,2	7,4 - 8,9	7,9 - 8,0
7	Жесткость (мг.экв/л)	не более 7,0	1,25 - 2,2	1,25 - 2,25	1,5 - 2,35
8	Кальций (мг.экв/л)		0,75 - 1,6	0,75 - 1,8	1,25 - 2,2
9	Магний (мг.экв/л)		0,22 - 1,1	0,25 - 1,0	0,05 - 0,75
10	Сумма К+Na (мг.экв/л)		0,3 - 1,2	0,35 - 1,09	0,48 - 1,5
11	Сульфаты (мг/л)	не более 500,0	10,2 - 46,1	10,1 - 45,1	16,4 - 61,7
12	Сухой остаток (мг/л)	не более 1000,0	100 - 165	149 - 190	100 - 176
13	Аммиак (мг/л)	2,0	н/об	н/об	н/об
14	Нитриты (мг/л)	3,0	н/об	н/об	н/об
15	Нитраты (мг/л)	не более 45	2,25 - 11,5	2,22 - 12,8	1,21 - 11,9
16	Щелочность (мг.экв/л)		1,0 - 1,9	1,1 - 2,1	1,1 - 1,9
17	Хлориды (мг/л)	не более 350	4,3 - 10,1	4,5 - 7,5	8,0 - 40
18	Остаточный хлор (мг/л)	0,3 - 0,5	----	----	----
19	Коли-индекс	менее- 3	96000-23000	96000-18000	23000-9200
20	Коли-титр	более- 333	0,01-0,04	0,01 - 0,06	0,04-0,11
21	Железо (мг/л)	не болле 0,3	0,0015-0,13	0,00018-0,15	0,0010-0,22
22	Медь (мг/л)	не более 1,0	0,0010-0,11	0,00015-0,12	0,0008-0,13
23	Фтор (мг/л)	не более 1,2	----	----	----
24	Марганец (мг/л)	не более 0,1	----	----	----
25	Окисляемость (мг/л)	не более 5,0	0,56-1,04	0,56-1,04	0,64-1,12
26	Алюминий (мг/л)	не более 0,5	----	----	----

Начальник лаборатории ЦКП питьевой воды

*Караматуллаева Н.С.* Караматуллаева Н.С.

**СЕРТИФИКАТ И ДИПЛОМЫ**



# CERTIFICATE

настоящим удостоверяется, что

**Бадавлатова Бунафша Худоёровна**

аспирант

Таджикский технический университет имени академика М. С. Осими

автор научной работы:

«ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ ПРОЦЕССА ОСВЕЩЕНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ»

принял (-а) участие в XIX Международной научно-практической конференции

«СОВРЕМЕННАЯ НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, ДОСТИЖЕНИЯ И ИННОВАЦИИ»,

5 мая 2021 г.,

г. Пенза, РФ

Директор МЦНС

«Наука и Просвещение»

к.э.н. Гуляев Г.Ю.



**НАУКА и ПРОСВЕЩЕНИЕ**  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР НАУЧНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА



# DIPLOMA

I место  
в секции «Технические науки»  
XIX Международной научно-практической конференции  
«СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:  
АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, ДОСТИЖЕНИЯ И ИННОВАЦИИ»

НАГРАЖДАЕТСЯ

**Бадавлатова Бунафша Худоёровна**

аспирант

Таджикский технический университет имени академика М. С. Осими

автор научной работы:

«ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ ПРОЦЕССА  
ОСВЕЩЕНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ»

Директор МЦНС  
«Наука и Просвещение»  
к.э.н. Гуляев Г.Ю.



5 мая 2021 года,  
Российская Федерация,  
город Пенза



**НАУКА и ПРОСВЕЩЕНИЕ**  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР НАУЧНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА



НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
**LIBRARY.RU**

