

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии
и биотехнологии

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Оптимизация технологии водоподготовки на ООО «Автоград водоканал» в
условиях строительства мостового перехода через р. Волга в районе питьевого водозабора

Студент

Т. А. Миллер

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к. х. н., К. В. Беспалова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Аннотация

Тема выпускной квалификационной работы: Оптимизация технологии водоподготовки на ООО «Автоград водоканал» в условиях строительства мостового перехода через реку Волга в районе питьевого водозабора.

Цель работы – оптимизация системы водоподготовки на предприятии ООО «Автоград водоканал» в условиях повышенной техногенной мутности.

В данной работе рассматривается проблема возникновения техногенной мутности воды в районе питьевого водозабора при строительстве моста через реку Волгу и методы снижения мутности воды на ООО «Автоград водоканал» путем оптимизации технологической схемы очистки воды.

Ключевым вопросом дипломной работы является повышение эффективности очистки воды от взвешенных веществ и мутности.

Выпускная квалификационная работа содержит: 56 страниц, 17 таблиц, 10 рисунков, список из 24 используемых источников. Бакалаврская работа состоит из введения, 3-х глав, заключения, списка используемых источников.

В первом разделе работы дана характеристика предприятия ООО «Автоград водоканал», осуществляющего подачу питьевой воды в Автозаводском районе г. Тольятти, проанализировано воздействие строительства мостового перехода в составе транспортного маршрута «Европа-Западный Китай» через реку Волга.

Во втором разделе рассмотрена технологическая схема водоподготовки и предложена ее оптимизация за счет внедрения технологии фильтрации и коагуляции, осуществлен подбор коагулянта на основе экспериментальных данных.

В третьем разделе произведен расчет размеров барабанного фильтра, материальный баланс технологического участка механической очистки на ООО «Автоград водоканал» и с учетом предлагаемой модернизации.

Abstract

The topic of the given graduation work is the optimization of water treatment technology at Avtograd Vodokanal LLC in the conditions of construction of a bridge crossing over the Volga River in the area of drinking water intake. This graduation work is about the problem of water turbidity as a result of construction works near the drinking water intake and ways to solve it by optimizing the technological scheme of water treatment.

The key issue of the graduation work is improving the efficiency of water purification from suspended solids.

The aim of the work is to give some information about filtration and coagulation technology, types of coagulants and about the most effective titanium coagulant, its advantages and disadvantages. We study the role of titanium coagulant, its possible problems and their solutions.

In our work we also examine a drum filter, its structure and how it works. We also propose it like a solution of a turbidity water problem. Then we analyze the results of the laboratory analysis of effectiveness of coagulants and found the differences in results. The results show clearly that titanium coagulant demonstrates its high efficiency.

It can be concluded that as an option to optimize the technological scheme, we offer the replacement of the existing coagulant with titanium coagulant (TiCl_3) and the additional introduction of drum filters.

Содержание

Введение.....	5
1 Строительство мостового перехода через реку Волга в районе питьевого водозабора г. Тольятти	7
1.1 Влияние условий строительства на качество воды питьевого водозабора.....	9
1.2 Общая характеристика предприятия ООО «Автоград водоканал»	11
2 Анализ системы водоподготовки на предприятии ООО «Автоград водоканал»	13
2.1 Исследование проб воды на мутность.	22
2.2 Подбор коагулянта на основе экспериментальных данных	25
3 Оптимизация технологической схемы на ООО «Автоград водоканал»	28
3.1 Барабанный микрофильтр и принцип его работы	28
3.2 Материальный баланс технологического участка механической очистки на ООО «Автоград водоканал».....	32
3.3 Материальный баланс технологического участка на ООО «Автоград водоканал» при предлагаемой технологии.....	39
Заключение	49
Список используемой литературы и используемых источников.....	50
Приложение А Отчёт по качеству природной поверхностной воды Куйбышевского водохранилища за период с 01.01.2020 г. по 31.12.2020 г.....	53

Введение

Вода – незаменимый природный ресурс, используемый во всех сферах жизни людей. При внедрении новых технологий и росте промышленности требования к качеству воды ужесточаются. Перед непосредственной подачей к потребителю вода проходит не одну стадию очистки.

Ориентировочными показателями качества воды служат требования СанПин. Существуют требования СанПин для природных вод и требования для питьевой воды (воды прошедшей обработку).

На физико-химические показатели исходной воды влияет множество природных факторов: ветер, скорость течения реки, погодные условия, климат.

Но на состав природной воды влияет и деятельность людей: строительство вблизи водоёма, размещение предприятий, сбрасывающих стоки, сельскохозяйственная деятельность.

Строительство мостового перехода через реку Волга вблизи села Климовка повлияет в первую очередь на физические показатели воды (её мутность, цветность, содержание грубых примесей) в районе питьевого водозабора, что потребует внедрения или замены сооружений в системе водоподготовки предприятия ООО «Автоград водоканал»

Ключевым вопросом дипломной работы является повышение эффективности очистки воды от взвешенных веществ и мутности.

Цель выпускной квалификационной работы - оптимизация системы водоподготовки на ООО «Автоград водоканал» в условиях повышенной техногенной мутности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Провести анализ воздействия строительства моста на качество воды в районе питьевого водозабора Автозаводского района г. Тольятти.

- Проанализировать существующую технологическую схему водоподготовки на ООО «Автоград водоканал».
- Рассчитать материальный баланс технологического участка механической очистки на ООО «Автоград водоканал».
- Провести анализ природной воды в районе водозабора ООО «Автоград водоканал».
- Предложить модернизацию механического этапа очистки на ООО «Автоград водоканал» с подбором коагулянта экспериментальным методом.
- Рассчитать материальный баланс технологического участка механической очистки с учетом предложенной оптимизации.

1 Строительство мостового перехода через реку Волга в районе питьевого водозабора г. Тольятти

На данный момент ведётся строительство моста через Волгу около села Климовка Самарской области. Строительство моста через Куйбышевское водохранилище осуществляется в 34 км от Жигулевской плотины. Протяженность мостового перехода составит 3,4 км. Мостовые опоры (26) на акватории водохранилища будут устанавливаться через 150 м. На левом и правом берегах водохранилища возводятся полуострова.

Строительство ведётся одновременно на правом и на левом берегу.

«Сейчас уже возведены все береговые опоры. На левом берегу Волги, на 26-й опоре собрали торец пролетного строения и аванбек, в полной готовности 25-я опора. В форсированном режиме идут работы по сооружению 24-й опоры - она будет следующей в этапе надвигки на этой стороне реки. На правом берегу полностью возведены три опоры» [3].

В качестве наиболее экологичного оборудования для дноуглубительных работ был выбран плавучий кран, грузоподъёмность которого составляет 16 т., а производительность 16,3 м³/час

Ширина водохранилища в районе строительства моста составляет 3,5 км. Максимальная глубина 41 м. В донных отложениях преобладает глинистый ил.

Строительство ведётся во 2 поясе зон санитарной охраны водозабора питьевого назначения г. Тольятти.

В соответствии с постановлением главного санитарного врача от границы поясов зон от 14 марта 2002 г. границы поясов устанавливаются следующим образом [11].

Граница первого пояса ЗСО водопровода с поверхностным источником устанавливается, с учетом конкретных условий, в следующих пределах:

а) для водотоков:

- вверх по течению - не менее 200 м от водозабора;

- вниз по течению - не менее 100 м от водозабора;
- по прилегающему к водозабору берегу - не менее 100 м от линии уреза воды летне-осенней межени;

- в направлении к противоположному от водозабора берегу при ширине реки или канала менее 100 м - вся акватория

И противоположный берег шириной 50 м от линии уреза воды при летне-осенней межени, при ширине реки или канала более

100 м - полоса акватории шириной не менее 100 м;

б) для водоемов (водохранилища, озера) граница первого пояса должна устанавливаться в зависимости от

местных санитарных и гидрологических условий, но не менее 100 м во всех направлениях по акватории водозабора и по прилегающему к водозабору берегу от линии уреза воды при летне-осенней межени.

Примечание. На водозаборах ковшевого типа в пределы первого пояса ЗСО включается вся акватория ковша.

Границы второго пояса ЗСО водотоков (реки, канала) и водоемов (водохранилища, озера) определяются в зависимости от природных, климатических и гидрологических условий.

Граница второго пояса на водотоке в целях микробного самоочищения должна быть удалена вверх по течению водозабора на столько, чтобы время пробега по основному водотоку и его притокам, при расходе воды в водотоке

95% обеспеченности, было не менее 5 суток - для 1А, Б, В и Г, а также ПА климатических районов и не менее 3-х суток - для 1Д, ПБ, В, Г, а также III климатического района.

Скорость движения воды в м/сутки принимается усредненной по ширине и длине водотока или для отдельных его участков при резких колебаниях скорости течения.

Граница второго пояса ЗСО водотока ниже по течению должна быть определена с учетом исключения влияния ветровых обратных течений, но не менее 250 м от водозабора.

Боковые границы второго пояса ЗСО от уреза воды при летне-осенней межени должны быть расположены на расстоянии:

- а) при равнинном рельефе местности – не менее 500 м;
- б) при гористом рельефе местности – до вершины первого склона, обращенного в сторону источника водоснабжения, но не менее 750 м при пологом склоне и не менее 1000 м при крутом.

Граница второго пояса ЗСО на водоемах должна быть удалена по акватории во все стороны от водозабора на расстояние 3 км - при наличии нагонных ветров до 10% и 5 км - при наличии нагонных ветров более 10%.

Граница 2 пояса ЗСО на водоемах по территории должна быть удалена в обе стороны по берегу на 3 или 5 км и от уреза воды при нормальном подпорном уровне (НПУ) на 500 - 1000 м.

В отдельных случаях, с учетом конкретной санитарной ситуации и при соответствующем обосновании,

Территория второго пояса может быть увеличена по согласованию с центром государственного санитарно - эпидемиологического надзора.

Границы третьего пояса

Границы третьего пояса ЗСО поверхностных источников водоснабжения на водотоке вверх и вниз по течению совпадают с границами второго пояса. Боковые границы должны проходить по линии водоразделов в пределах 3-5 километров, включая притоки. Границы третьего пояса поверхностного источника на водоеме полностью совпадают с границами второго пояса.

1.1 Влияние условий строительства на качество воды питьевого водозабора

Мутность воды – это оптическое свойство, позволяющее свету рассеиваться и поглощаться. Рассеивание света, проходящего через жидкость, в первую очередь вызвано взвешенными твердыми веществами. Чем выше

мутность, тем больше количество рассеиваемого света. Поскольку даже молекулы в очень чистой жидкости в определенной степени рассеивают свет, ни один раствор не будет иметь нулевой мутности.

Единицей измерения, принятой стандартом ISO, является FNU (Нефелометрическая единица формазина) и по АООС (агентство по охране окружающей среды) - это NTU (нефелометрическая единица). Двумя другими методами, используемыми для проверки мутности и их единицами измерения, являются JTU (единица измерения мутности Джексона) и единица измерения кремнезема (мг/л SiO₂) [22].

Мутность воды является нестабильным показателем, т. к. частично удаляется в процессе очистки и потому требует периодического определения. На крупных станциях используются специальные автоматически регистрирующие приборы [2].

Высокая мутность является отличной средой для развития патогенов, что может вызвать вспышку заболеваний, передающихся через воду [20].

Возникновение мутности при дноуглубительных работах опасно для жизнедеятельности коралловых рифов. В условиях повышенной мутности нарушено проникновение солнечных лучей, что приводит к дисбалансу в экосистемах (нарушению процесса фотосинтеза) [22].

Куйбышевское водохранилище является водоёмом культурно-бытового и питьевого назначения и служит источником водоснабжения для таких городов как Казань, Тольятти, Ульяновск, Зеленодольск, Тетюши, Новоульяновск, Волжск, Чистополь.

Дноуглубительные работы, которые ведутся при добыче нерудных ископаемых и с целью улучшения судоходных путей приводят к взмучиванию воды и распространению взвешенных веществ с течениями водохранилища. В данном случае мутность негативно влияет на гидрологические и гидрохимические показатели водоёма, кормовую базу для рыб и мест их нереста, что ведёт к критическому сокращению рыбного стада [12].

По нормам СанПиН по мутности для питьевой воды вещества, содержащиеся в воде можно разделить на две группы:

- Растворимые
- Нерастворимые

Взвешенные нерастворимые частицы бывают минеральной и органической природы.

По требованиям СанПиН для питьевой воды мутность не должна превышать 2 ЕМФ (Таблица 1) [13], [14].

Таблица 1 – Требования СанПиН по цветности и мутности для питьевой воды

Показатели	Единицы измерения	Нормативы, не более
Цветность	градусы	20(35)*
Мутность	ЕМФ (единицы мутности по формазину) или мг/л (по каолину)	2,6 (3,5)* 1,5 (2)*

При строительстве мостового перехода через реку Волга наблюдается повышение мутности воды, что приведет к возможному превышению показателя ПДК (предельно допустимой концентрации) по мутности воды.

1.2 Общая характеристика предприятия ООО «Автоград водоканал»

«Дата ввода в эксплуатацию - август 1970 года. Проектная производительность водозаборных сооружений – 378 тыс.м³ в сутки. Фактическая производительность - 332 тыс.м³»

Целью предприятия является подготовка воды к использованию потребителем, развитие культуры рационального водопотребления, экономное использование водных ресурсов Куйбышевского водохранилища.

Основной деятельностью данного предприятия является водоподготовка, отведение и обезвреживание канализационных стоков.

«Сооружения водоподготовки обеспечивают хозяйственно-питьевые производственные и противопожарные потребности жилого района г.о. Тольятти, предприятий промышленно-коммунальной зоны, «ТЭЦ ВАЗа» Самарского филиала ОАО «Волжская ТГК», ОАО «АВТОВАЗ». Система водоснабжения является централизованной, I-ой категории, объединенной».

На предприятии ведется постоянный контроль качества воды до и после её обработки. Анализ проб воды регулярен. Исследования проводятся в лабораториях предприятия [7].

2 Анализ системы водоподготовки на предприятии ООО «Автоград водоканал»

Система водоподготовки на ООО «Автоград водоканал» включает в себя такие процессы очистки как процеживание, коагуляцию, отстаивание, фильтрование.

Технологический состав сооружений [10]:

- установка УФ-обеззараживания (4 блока);
- здание реагентного хозяйства;
- вертикальные смесители (4 шт.);
- горизонтальные отстойники с зоной взвешенного осадка и зоной осаждения (4 шт.);
- открытые скорые фильтры с керамзитовой загрузкой (16 шт.);
- хлораторная установка;
- резервуары питьевой воды (4шт. по 20тыс.м³ каждый);
- насосная станция 2-ого подъема;
- станция повторно используемой воды с 2-мя резервуарами по 1000 м³ каждый.

На рисунке 1 показана общая технологическая схема водоподготовки на ООО «Автоград водоканал»

Принцип общего технологического процесса

Вода с водозаборных сооружений проходит ультрафиолетовое обеззараживание, затем она поступает в смеситель, куда дозированно подаётся коагулянт совместно с сорбентом (в смесителе протекает химическая реакция с плавным перемешиванием реакционной массы (коагуляция). Полученная смесь поступает в горизонтальные отстойники, где происходит оседание хлопьев. Полученный шлам отправляется в шламонакопитель. Вода после коагуляции направляется в биологические фильтры с керамзитовой загрузкой. Вода на выходе из фильтров хлорируется и поступает в резервуары, небольшая её часть служит для промывки фильтров. Из резервуаров вода подаётся на

насосную станцию II – го подъёма, откуда поступает в водопровод потребителям.

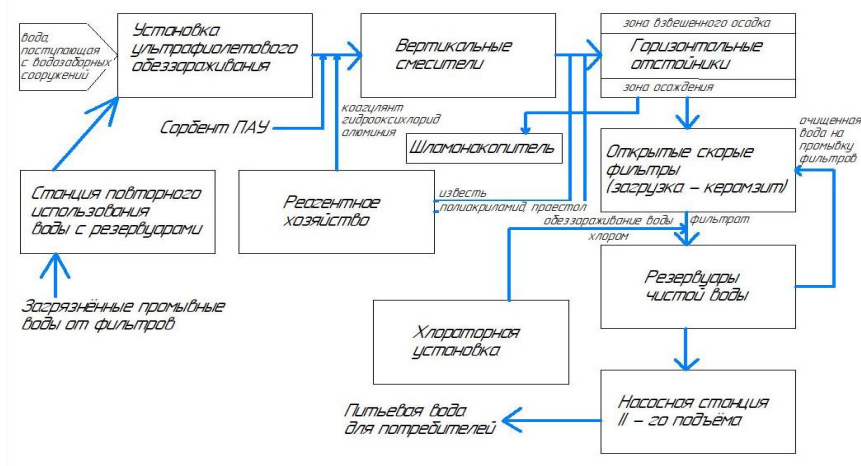


Рисунок 1 – Технологическая схема водоподготовки на ООО «Автоград водоканал» [10]

Механическая и реагентная очистка в системе водоподготовки ООО «Автоград водоканал» включает в себя такие процессы как коагуляция, отстаивание и фильтрование.

Процесс коагуляции представляет собой слипание частиц коллоидной системы с последующим их укрупнением. Процесс более эффективно протекает при тепловом движении и перемешивании. Продуктом коагуляции являются хлопья (агрегаты) – совокупности скопления мелких (первичных) частиц, объединённых при помощи сил межмолекулярного взаимодействия. За счёт укрупнения частиц происходит сокращения их общего числа в системе. Слипание однородных частиц называется гомокоагуляцией, а разнородных – гетерокоагуляцией.

Существуют органические и неорганические, природного происхождения (получаемые методом экстракции из растений), искусственно синтезированные. При водоподготовке используют неорганические коагулянты (соли металлов).

Основные три типа солей металлов, используемые в качестве коагулянтов:

- Соли железа
- Соли алюминия
- Смесь солей алюминия и железа

Железосодержащие коагулянты

Из железосодержащих коагулянтов используют, главным образом, хлорид железа, сульфат железа. FeCl_3 , представляющий собой мелкие кристаллы фиолетового цвета с темно-зеленым оттенком с металлическим блеском, очень гигроскопичен, поэтому чаще встречается в форме кристаллогидрата $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Товарный продукт выпускается двух сортов, содержащих соответственно не менее 97,3 и 95 % FeCl_3 .

Сульфат закиси железа $\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — зеленовато-голубые кристаллы, окисляющиеся на воздухе с образованием основного сульфата железа (III) $\text{Fe}(\text{OH})(\text{SO}_4)$. Товарный продукт содержит от 47 до 53 % $\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Соли железа обеспечивают наилучшую коагуляцию при pH 3,5–6,5 или 8,0–11,0, что является преимуществом их применения. Помимо этого, коагулянты на основе железа не теряют своей коагулирующей способности даже при низких температурах воды. К недостаткам можно отнести необходимость точной дозировки коагулянта, так как избыток может приводить к значительному повышению концентраций катионов и соединений железа в очищенной воде.

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ выпускается в трех сортах. Сульфат алюминия высшего сорта представляет собой сыпучий белый материал с содержанием Al_2O_3 не менее 16 %, первый и второй сорт — это неслеживающиеся пластины, куски, брикеты с содержанием Al_2O_3 16 и 15 % соответственно.

Данный коагулянт эффективен при pH 5–7,5, при этом он обладает высокой чувствительностью к изменению pH и температуры воды, что является существенным недостатком. Однако сульфат алюминия имеет невысокую стоимость, прост в обращении, обладает практически

неограниченным сроком хранения и хорошей растворимостью. Это один из самых распространенных коагулянтов.

Оксихлорид алюминия (ОХА) другие названия — полиалюминий гидроклорид, хлоргидроксид алюминия, основной хлорид алюминия. ОХА можно представить в виде общей формулы $Al(OH)_mCl_{3n-m}$, наиболее частый вид $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$. ОХА на сегодняшний день является одним из наиболее эффективных коагулянтов, используемый при низких температурах, обладающий низкой кислотностью и широкой зоной оптимума pH. Содержание остаточного алюминия после обработки вод ОХА значительно ниже, чем при использовании сульфата алюминия.

Недостатки железосодержащих и алюмосодержащих коагулянтов можно минимизировать, если использовать смешанные коагулянты. Смешанный алюможелезный коагулянт представляет собой смесь растворов $FeCl_3$ и $Al_2(SO_4)_3$ в соотношении 1:1, возможны и другие соотношения в зависимости от условий работы очистных сооружений и характера сточных вод [6].

Титановые коагулянты при очистке воды дают много преимуществ, превосходя все другие типы существующих коагулянтов. Для благоприятного протекания процесса коагуляции требуется меньшая дозировка; такие коагулянты менее восприимчивы к pH, они биологически инертны, функциональны и при низкой температуре воды.

В первую очередь, ион Ti^{4+} имеет больший заряд, чем ионы Al^{3+} и Fe^{2+} (обычно используются в качестве коагулянтов), что, как мы знаем из коллоидной химии, характеризует его как гораздо более эффективного коагулирующего агента (больше заряд коагулирующих ионов – меньше ионов, необходимых для компенсации Дзета-потенциала коллоидных частиц – меньше доза коагулянта, необходимое для оседания).

Поэтому доза титанового коагулянта в тех же условиях должна быть значительно меньше, чем у алюминиевого или железного коагулянта.

Вторая особенность коагулянтов на основе титана - гидролиз Ti^{4+} начинается с гораздо меньшего pH, чем гидролиз Al^{3+} [21].

Для интенсификации процесса хлопьеобразования при коагуляции применяют флокуляцию.

Флокуляция — это процесс агрегации частиц при добавлении в сточные воды высокомолекулярных соединений, называемых флокулянтами.

В отличие от коагуляции, агрегация частиц при флокуляции происходит не только в результате контакта, но и в результате химического взаимодействия флокулянта и извлекаемого вещества.

Важно подобрать правильную дозу флокулянта, так как недостаток приводит к медленному и неполному протеканию процесса, а избыток — к дефлокуляции или пептизации.

В воде флокулянты могут находиться в неионизированном состоянии (неионные флокулянты) или диссоциировать на ионы. В зависимости от химической природы диссоциирующей группы различают анионные и катионные флокулянты. Обычно к анионным группам относят: $-COOH$; $-SO_3H$; $-OSO_3H$; $-PO(OH)_2$; $-Cl$; $-SO_4$; к катионным: $-NH_2$; $=NH$; $=NOH$; $-Na$; $-K$ и другие. При наличии в структуре кислотных и основных групп макромолекула обладает амфотерными свойствами, т. е. знак заряда иона изменяется в зависимости от pH среды. Наибольшее распространение в промышленном применении получил полиакриламид и флокулянты на его основе [6].

На предприятии ООО «Автоград водоканал» в качестве коагулянта используется $Al_2(OH)_5Cl$ (гидроксихлорид алюминия)

Седиментация — это процесс осаждения взвешенных веществ под действием гравитационных сил в жидкой или газообразной среде, используемый как метод очистки вод от взвешенных веществ.

Седиментация в дисперсных системах, особенно с газовой дисперсионной средой, часто сопровождается укрупнением частиц дисперсной фазы вследствие коагуляции или коалесценции [15].

Отстойник – аппарат, предназначенный для разделения суспензий методом отстаивания. Является аппаратом механической очистки.

Существуют отстойники периодического, непрерывного и полунепрерывного действия. При непрерывном действии возможны несколько вариантов отстойников: одноярусные, двухъярусные и многоярусные [4].

По направлению движения потока жидкости отстойники подразделяются на горизонтальные, вертикальные, радиальные.

Горизонтальные отстойники представляют собой прямоугольные бетонные резервуары, направление движения воды горизонтальное. Таким образом, очищаемая вода подается с одного конца аппарата и отбирается с другой. Взвешенные частицы оседают во время движения потока, а осадок удаляется разгрузочным устройством. Подходят при переработке больших объёмов воды.

Вертикальные отстойники – это круглые или квадратные резервуары, имеющие в центре водоворотную камеру. Жидкость поступает в водоворотную камеру, огибая её нижний край поднимается вертикально вверх. Оседание взвешенных веществ происходит в восходящем потоке, осаждение осадка происходит на коническом днище аппарата, откуда затем он удаляется гидростатическим напором. При биологической очистке вертикальные отстойники могут использовать в качестве илоуплотнителей.

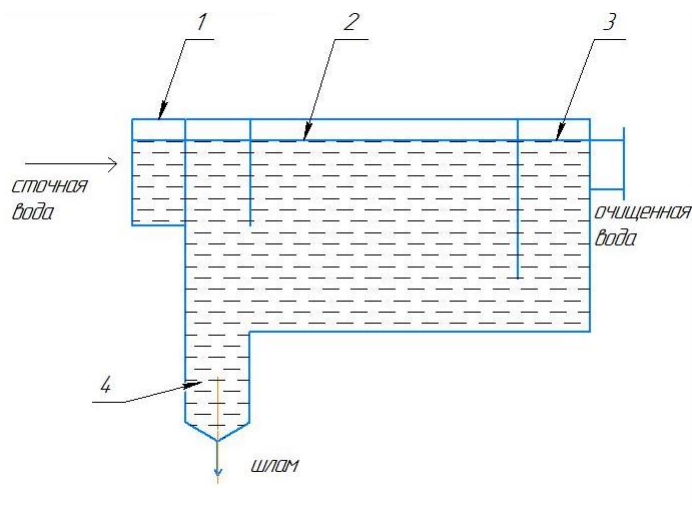
Кроме взвешенных веществ вертикальные отстойники используются при улавливании всплывающих веществ, в качестве улавливающего устройства устанавливается доска перед сборным лотком. Такие отстойники применяются при очистке небольших объёмов воды (при производительности (производительность около $3000 \text{ м}^3/\text{сут}$).

Радиальные отстойники – сооружения круглой формы, бетонные резервуары. Принцип работы заключается в подаче воды снизу в центр и через воронку, обращённую широким концом кверху. Движение воды идёт от центра к периферии. Для удаления осадка служит дополнительный

вращающийся скребковый механизм, сгребающий осадок к центру. Затем осадок удаляется иллотсасывающим устройством. [16].

Метод отстаивания является одним из самых простых и дешёвых методов разделения суспензий. Частицы оседают на днище аппарата под действием сил тяжести. Используются при водоподготовке, водоотведении и очистке сточных вод.

На ООО «Автоград водоканал» в системе водоподготовки используются горизонтальные отстойники. На рисунке 2 показана схема горизонтального отстойника.



1 — входной лоток,
2 — отстойная камера, 3 — выходной лоток, 4 — приямок

Рисунок 2 – Схема отстойника горизонтального

Фильтрация – это процесс разделения неоднородных систем (суспензий, коллоидов) за счёт пропускания суспензии или газа через специальную фильтровальную перегородку, которая служит барьером для удерживания нерастворимых примесей. Целью фильтрации является выделение чистого продукта – фильтрата и осадка.

Существуют пористые, зернистые, тканевые, сетчатые, насыпные фильтровальные перегородки. Материалами могут быть: стекло, металл, керамика, хлопчатобумажные ткани, шерсть, синтетические материалы.

Пористые перегородки представляют собой губчатый неоднородный материал, ячеистый по своей структуре. Накопление осадка происходит на поверхности материала и внутри пор.

Зернистые перегородки от пористых отличает метод изготовления. Порошки материалов таких как песок склеивают и спекают под давлением таким образом, чтобы полученный материал сохранил свою пористость. Удерживание осадка происходит преимущественно внутри материала.

Тканевые перегородки – это переплетённые между собой волокна, удерживание осадка происходит на поверхности перегородки.

Сетчатые перегородки – это сита размером с 0,5 мм×0,5 мм до 0,08×0,08 мм

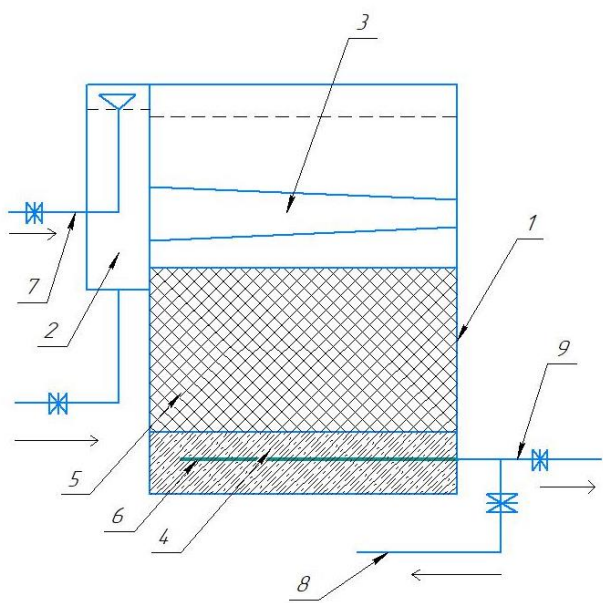
Насыпные перегородки представляют собой твёрдые частицы, не связанные между собой. Их можно использовать только при вертикальном положении фильтра [5].

На предприятии ООО «Автоград водоканал» используются скорые загрузочные фильтры.

Скорый фильтр – сооружение для физической очистки вод, в которых вода проходит через фильтровальную перегородку.

В качестве фильтровальной перегородки в данном фильтре служит фильтрующая загрузка (щебень, керамзит, керамика, гравий, и др.). Относится к каркасно-засыпным фильтрам. Такие фильтры состоят из двухслойного фильтра с нисходящим потоком. Нижним слоем таких фильтров служит кварцевый песок. Проходя через верхний слой, вода очищается от основных загрязнений, затем для доочистки проходит через нижние слои фильтровальной загрузки. Эффективность очистки по взвешенным веществам – 70 – 80%, по БПК_{полн} – 70 % [13].

На рисунке 3 показана схема скорого загрузочного фильтра



1 - корпус фильтра; 2 - боковой карман фильтра; 3 - желоб; 4- дренаж фильтра; 5 - зернистая фильтрующая загрузка; 6 - поддерживающий слой; 7 - подача осветляемой воды на фильтр; 8 - отвод фильтрата; 9 - подача промывной воды в фильтр

Рисунок 3 - Схема скорого фильтра

В результате процесса коагуляции и флокуляции образуются осадки, требующие последующей утилизации. Существует несколько методов переработки осадков:

- Сжигание
- Пиролиз (сжигание при более высоких температурах при отсутствии кислорода)
- Газификация (сжигание при ещё более высоких температурах)
- Обезвоживание
- Уплотнение

При переработке осадков, а результате коагуляции оптимальным вариантом является переработка осадка термическими методами, в результате

образуется зола, используемая в качестве компонента строительных материалов [17].

Вывод: в условиях повышенной техногенной мутности воды требуется оптимизация технологического участка механической очистки существующей технологической схемы на предприятии ООО «Автоград водоканал».

2.1 Исследование проб воды на мутность.

Были проведены исследования проб воды, взятых в районе водозабора за территорией ООО «Автоград водоканал»:

450 м по течению от источника загрязнения

300 м против течения от источника загрязнения

Для определения показателя мутности проведено измерение массовых концентраций взвешенных веществ гравиметрическим методом.

Для анализа подготовили 2 бумажных фильтра «Синяя лента», доводя до постоянной массы:

$$m_1 = 0,8671 \text{ г.}$$

$$m_2 = 0,8827 \text{ г.}$$

В колбы с воронками поместили бумажные фильтры, фильтровали 2 пробы объёмом по 100 мл.

Получили следующие данные:

$$m_1 = 0,8732 \text{ г.}$$

$$m_2 = 0,8875 \text{ г.}$$

Затем произведен расчёт содержания взвешенных веществ [8].

Содержание взвешенных веществ в пробе рассчитали по формуле 1:

$$X_1 = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot 1000 \quad (1)$$

$$X_1 = \frac{0,8875 - 0,8827}{100} \cdot 1000 = 0,048 \text{ мг/дм}^3$$

$$X_2 = \frac{0,8732 - 0,8671}{100} \cdot 1000 = 0,061 \text{ мг/дм}^3$$

В таблице 2 проведен анализ полученных данных.

Таблица 2 - Анализ полученных результатов

Взвешенные вещества	ПДК
0,048 мг/дм ³	≤ 30 мг/дм ³
0,061 мг/дм ³	

Вывод: превышений по взвешенным веществам нет, что объясняется расстоянием сбора проб от водозабора.

Далее проведено определение мутности фотометрическим методом [9]. Для анализа подготовили фотометр и кюветы 50 мм. Одну кювету наполнили холостой пробой (дистиллированная вода), другую – исследуемой водой. Получили следующие данные по оптической плотности:

$$A = 0,045$$

$$A = 0,048$$

По общему градуировочному графику мутности воды (рисунок 4) определили мутность проб (мкг, ЕМФ)



Рисунок 4 – Градуировочный график мутности воды

Мутность исследуемых проб воды, отобранных в районе водозабора Автозаводского района составляет:

- 4,2 ЕМФ
- 4,4 ЕМФ

В таблице 2 проведен анализ полученных данных.

Таблица 3 – Анализ полученных результатов

Мутность проб	ПДК
4,2 ЕМФ	$\leq 34,6$ ЕМФ
4,4 ЕМФ	

Вывод: мутность проб не превышает предельно – допустимую концентрацию (ПДК). Причиной полученных результатов является расстояние от точки водозабора до точки отбора проб.

По данным протокола исследований (приложение А) предприятия ООО «Автоград водоканал» в точке водозабора максимальное значение по

мутности воды составляет 56 ЕМФ, что существенно превышает значения ПДК (34,6 ЕМФ).

2.2 Подбор коагулянта на основе экспериментальных данных

Далее проводился анализ эффективности предлагаемых для водоподготовки коагулянтов [7].

Для анализа подготовили 9 фильтров, доводя до постоянной массы. 9 колб на 250 мл наполнили речной водой (объём пробы 100 мл).

Отдельно приготовили стандартные растворы коагулянтов (рисунок 5):

- $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$ (гидроксихлорид алюминия) ($C = 1 \text{ г/л}$)
- TiCl_3 (титан трёххлористый) ($C = 1 \text{ г/л}$)
- Смесь 1 г (7,5 % TiCl_3) /л

В каждые три колбы добавляли приготовленные растворы коагулянтов: 0,1; 0,2; 0,3 мл. соответственно.

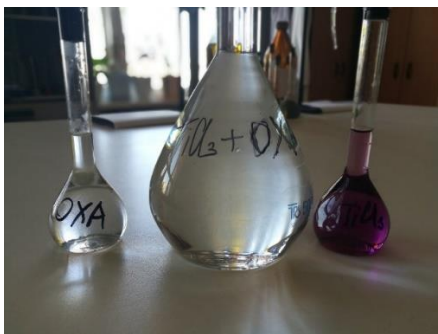


Рисунок 5 – Растворы коагулянтов



Рисунок 6 – Проведение анализа эффективности коагулянтов

Через 30 минут провели фильтрацию через бумажные фильтры. Фильтраты фотометрировали при длине волны 520 нм, в кювете с толщиной поглощающего слоя 50 мм.

В результате проведенного эксперимента были получены следующие данные (таблица 4), мутность определили по градуировочному графику.

Таблица 4 – Результаты фотометрического анализа

Оксид алюминия		
Оптическая плотность (A)	Мутность (ЕМФ)	Доза коагулянта, мл
0,017	2,1	0,1
0,017	2,1	0,2
0,017	2,1	0,3
Титан трёххлористый		
Оптическая плотность (A)	Мутность (ЕМФ)	Доза коагулянта, мл
0,027	2,5	0,1
0,009	1,1	0,2
0,008	1	0,3
Смесь		
Оптическая плотность (A)	Мутность (ЕМФ)	Доза коагулянта, мл
0,022	2,2	0,1
0,019	2	0,2
0,018	1,9	0,3

Вывод: самый лучший результат был достигнут с трёххлористым титаном (TiCl_3). При дозе коагулянта 0,3 мл выпал ярко выраженный хлопьевидный оранжевый осадок. При данной дозе был получен самый лучший результат. При дозировке 0,2 мл результат практически аналогичный.

Оксихлорид алюминия при всех трёх дозах (0,1; 0,2; 0,3 мл) проявил себя одинаково. Эффективность ниже, чем у титанового коагулянта.

Смешанный коагулянт показал ещё более низкий результат, но почти аналогичный оксихлориду алюминия.

Исходя из результатов экспериментальных данных при повышенной мутности воды эффективно использование титанового коагулянта с химической формулой - TiCl_3

Хлористый титан в твёрдом состоянии представляет собой кристаллы тёмно-фиолетового цвета. Известна β -модификация TiCl_3 — кристаллы коричневого цвета. Растворяется в воде, медленно окисляется на воздухе, образует кристаллогидрат [1].

Хлорид титана (III) в виде раствора (10 - 20%) при неаккуратном обращении может вызвать ожог слизистой глаз и носа и повреждение кожных покровов, однако при концентрации в 1% или доли процента он безопасен [23].

Используется в промышленном производстве, в лабораториях в качестве модификатора и катализатора [24].

TiCl_3 находит применение и в качестве коагулянта и обеспечивает обеззараживание воды, но не имеет широкого распространения из-за относительной дороговизны.

3 Оптимизация технологической схемы на ООО «Автоград водоканал»

В ходе анализа технологической схемы на предприятии ООО «Автоград водоканал» был сделан вывод о необходимости модернизации технологической схемы. Возможные варианты модернизации:

- замена коагулянта;
- внедрение дополнительных аппаратов очистки;

Под заменой реагентов подразумевается выбор более эффективных коагулянтов, что позволит сократить объёмы используемых реагентов.

При внедрении аппаратов водоочистки оптимальным вариантом являются фильтры механической очистки, которые подбираются в зависимости от состава воды, внешних условий.

При оптимизации системы водоподготовки на ООО «Автоград водоканал» возможен вариант внедрения дополнительного очистного сооружения (фильтра) и замена реагентов (полиакриламида, оксихлорида алюминия на титановый коагулянт (TiCl_3)).

При дополнительном анализе фильтрационных сооружений подходящим вариантом является барабанный фильтр.

3.1 Барабанный микрофильтр и принцип его работы

Барабанный микрофильтр представляет собой сооружение в форме барабана, покрытого фильтровальной тканью, вращающегося около 3 оборотов в минуту. Работает под вакуумом. Является фильтром непрерывного действия.

Существует 2 типа барабанных фильтров:

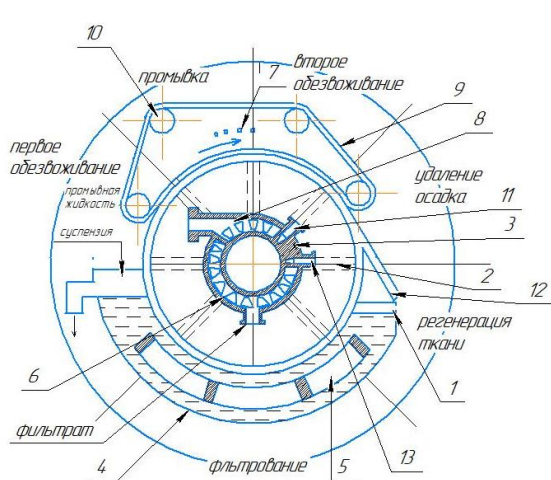
- барабанные сетки;
- микрофильтры.

«Основным отличием барабанных сеток от микрофильтров является размер ячеек. У барабанных сеток – 0,5 мм и выше (очистка от грубых примесей). У микрофильтров – 100 – 40 мкм (более тонкая очистка)» [18].

Вода поступает по трубопроводу во вращающийся барабан

Очищенная вода выходит через фильтрующую сетку вращающегося барабана. На внутренней поверхности барабана осаждается загрязнитель. Верхняя часть барабана примерно на $\frac{2}{5}$ - $\frac{1}{4}$ его диаметра находится над уровнем воды в резервуаре. В качестве промывного механизма используется разбрызгивающее устройство, которое подаёт воду на сетку барабана под давлением. Бункер для промывной жидкости с осадком сосредоточенный внутри барабана. Из сборного бункера промывная вода отводится через сточную трубу, на которой вращается барабан микрофильтра.

На рисунке 7 показана схема барабанного фильтра, с зонами фильтрования, обезвоживания и промывки осадка.



1 - барабан; 2 - соединительная трубка; 3 - распределительное устройство; 4 — резервуар для суспензии; 5 - качающаяся мешалка; 6, 8 — полости распределительного устройства, сообщающиеся источником вакуума; 7 - разбрызгивающее устройство; 9 - бесконечная лента; 10 - направляющий ролик; 11, 13 — полости распределительного устройства, сообщающиеся с источником сжатого воздуха; 12 нож для съема осадка.

Рисунок 7 – Схема барабанного фильтра [5]

Далее произведен расчёт барабанного микрофилтра

Производительность очистной станции – 332000 м³/сут

В таблице 4 представлены исходные данные для расчёта барабанного микрофилтра

Таблица 5 – Данные по фильтру

Марка фильтра	S фильтрации, м²	Q _{max} , л/с
6FBO	13,104	200

Степень эффективности по взвешенным веществам выраженная в %:

$$\mathcal{E}_{\text{вв}} = \frac{(C_{\text{вп}} - C_{\text{вх}})}{C_{\text{вп}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $C_{\text{еп}}$ – содержание взвешенных веществ в очищенной сточной воде после аэротенков или вторичных отстойников;

$C_{\text{ех}}$ – содержание взвешенных веществ в воде после глубокой очистки.

$$\mathcal{E}_{\text{вв}} = \frac{(0,0000366 - 0,0000146)}{0,0000366} \cdot 100\% = 60\%$$

- Площадь фильтрующей поверхности, м²:

$$F_{\text{мф}} = \frac{k_1 \cdot Q}{k_2 \cdot T \cdot v_{\text{ф}}}, \quad (2)$$

где Q – производительность очистной станции, м³/сут; k_1 – коэффициент, учитывающий увеличение производительности микрофилтров за счет очистки промывной воды и равный 1,03–1,05;

k_2 – коэффициент, учитывающий площадь фильтрующей поверхности, расположенной над водой (при погружении барабана на 0,6 диаметра $k_2 = 0,55$, а при погружении на 0,7 диаметра $k_2 = 0,63$);

T – продолжительность работы станции в течение суток, ч;

v_ϕ – скорость фильтрования, принимаемая равной при доочистке биологически очищенных сточных вод 20–25 м/ч.

$$F_{\text{мф}} = \frac{1,05 \cdot 332000}{0,55 \cdot 20 \cdot 600} = 52,818 \text{ м}^2$$

- Количество микрофильтров:

$$N = \frac{F_{\text{мф}}}{F} \quad (3)$$

где $F_{\text{мф}}$ – площадь фильтрующей поверхности; F – площадь фильтрации.

$$N = \frac{52,818}{13,104} = 4$$

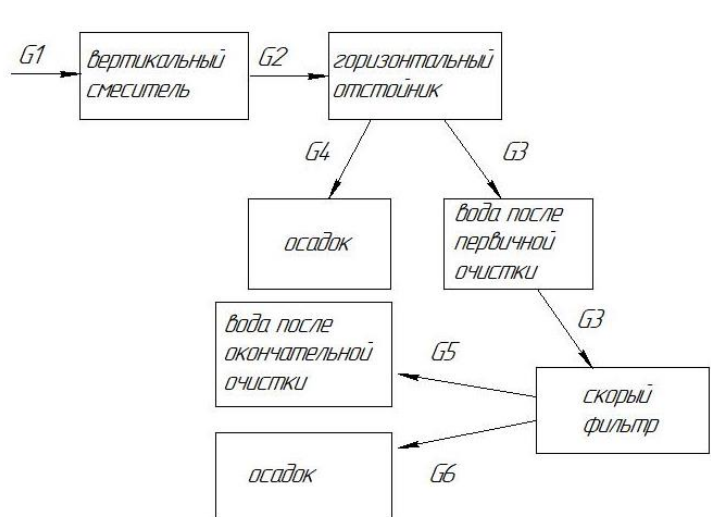
- Суточное количество промывной воды, м³/сут:

$$Q_n = 0,04 \cdot Q \quad (4)$$

$$Q_n = 0,04 \cdot 332000 = 13280 \text{ м}^3/\text{сут}$$

3.2 Материальный баланс технологического участка механической очистки на ООО «Автоград водоканал»

На рисунке 8 представлена общая схема материального баланса на ООО «Автоград водоканал»



где $G1$ – количество воды на входе, кг/ч, $G2$ – количество воды после взаимодействия с реагентами, кг/ч; $G3$ – количество воды после седиментации, кг/ч; $G4$ – количество осадка после седиментации, кг/ч; $G5$ – количество воды после конечной очистки и хлорирования, кг/ч; $G6$ – количество осадка, образованного в результате конечной очистки

Рисунок 8 – Схема материального баланса водоподготовки

Составим материальный и тепловой балансы процесса механической очистки и коагуляции для системы водоподготовки на ООО «Автоград водоканал».

Исходные данные для расчёта представлены в таблице 6:

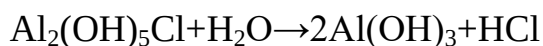
Таблица 6 – Исходные данные для расчёта [7].

Наименование показателей	Единица измерения	Концентрация
Взвешенные вещества	мг/дм ³	0,95
Мутность	ЕМФ	56,00

Далее произведен расчет материального баланса процесса коагуляции для $Al_2(OH)_5Cl$.

В осветлитель вводится коагулянт $Al_2(OH)_5Cl$ концентрацией 0,6 мг/л = 0,0000006 кг/л

В осветлителе протекает следующая реакция:



Производительность осветлителя ($G_{осв}$) – 1000 м³/ч = 1000000 дм³/ч

Общая масса воды 785,164 кг = 785164 г

В таблице 7 представлены молекулярные массы веществ, участвующих в реакции.

Таблица 7 - Значения молекулярных масс основных веществ, участвующих в реакции

Вещество	Молярная масса, г/моль
$Al(OH)_3$	78
H_2O	18
HCl	36,46
$Al_2(OH)_5Cl$	174.45

- Общая масса коагулянта (формула 1)

$$m_{Al_2(OH)_5Cl} = C_{Al_2(OH)_5Cl} \cdot G_{см} \quad (1)$$

$$0,0000006 \cdot 1000000 = 0,6 \text{ кг}$$

где m – масса вещества, г;

C – концентрация вещества;

$G_{см}$ – производительность смесителя, дм³/ч.

- Расчёт количества и объёма $Al_2(OH)_5Cl$ (формулы 2 и 3):

$$n_{Al_2(OH)_5Cl} = m_{Al_2(OH)_5Cl} / M_{Al_2(OH)_5Cl} \quad (2)$$

$$600/174,45 = 3,44 \text{ моль}$$

$$V_{Al_2(OH)_5Cl} = (m_{Al_2(OH)_5Cl} \cdot V_m \cdot \nu)/n \quad (3)$$

$$(600 \cdot 22,4 \cdot 1)/174,45 = 77,04 \text{ мл} = 0,077 \text{ л},$$

где n – количество вещества, моль;

M – молярная масса вещества, г/моль;

V_m – молярный объём вещества, моль/л;

ν – стехиометрический коэффициент в уравнении; n – количество атомов вещества.

- Рассчитали объём H_2O (формула 4):

$$V_{H_2O} = (m_{H_2O} \cdot V_m \cdot \nu)/M_{H_2O} \quad (4)$$

$$(785164 \cdot 22,4 \cdot 1)/18 = 977092,97 \text{ мл} = 977,093 \text{ л}$$

- Нашли массу и объём $Al(OH)_3$ (формулы 5 и 6):

$$n_{Al(OH)_3} = 3,44 \cdot 2 = 6,88 \text{ моль}$$

$$m_{Al(OH)_3} = (n_{Al(OH)_3} \cdot \nu \cdot (M_{Al(OH)_3} + M_{H_2O}))/n \quad (5)$$

$$(6,88 \cdot 2 \cdot (78 + 18))/7 = 188,65 \text{ г} = 0,188 \text{ кг}$$

$$V_{Al(OH)_3} = (m_{Al(OH)_3} \cdot V_m \cdot \nu)/M_{Al(OH)_3} \quad (6)$$

$$(188,65 \cdot 22,4 \cdot 2)/78 = 0,108 \text{ дм}^3 \text{ (осадок)}$$

- Рассчитали массу и объём HCl (формулы 7 и 8):

$$n_{HCl} = n_{Al_2(OH)_5Cl} = 3,44 \text{ моль}$$

$$m_{HCl} = (n_{HCl} \cdot \nu \cdot M_{HCl})/n \quad (7)$$

$$(3,44 \cdot 1 \cdot 36,46)/2 = 62,71 \text{ г} = 0,0627 \text{ кг}$$

$$V_{HCl} = (m_{HCl} \cdot V_m \cdot \nu)/M_{HCl} \quad (8)$$

$$(62,71 \cdot 22,4 \cdot 1)/36,46 = 38,53 \text{ мл} = 0,0385 \text{ л}$$

- Объём воды на выходе (формула 9):

$$V_{H_2O} = (m_{H_2O} \cdot V_m)/M_{H_2O} \quad (9)$$

$$(7784000 \cdot 22,4)/18 = 968,68 \text{ л}$$

Результаты занесли в таблицу 8

Таблица 8 – Приход - расход

Вещество	Приход		Вещество	Расход	
	кг/ч	дм ³		кг/ч	дм ³
Al ₂ (OH) ₅ Cl	0,6	0,077	Al(OH) ₃	0,188	0,108
H ₂ O	785,164	977,093	HCl	0,0627	0,0385
-	-	-	H ₂ O	778,4	968,68
Итого	785,764	977,17	Итого	778,65	968,83

Затем был рассчитан материальный баланс отстойника.

- Определяем концентрацию взвешенных веществ в осадке отстойников (формула 10):

$$C_{3\text{ВЗВ.В.}} = C_{2\text{ВЗВ.В.}} \cdot \Xi_{\text{п.о.}}, \quad (10)$$

где $C_{2\text{ВЗВ.В.}}$ – концентрация взвешенных веществ на выходе из смесителя, кг/ч

$$C_{3\text{ВЗВ.В.}} = 0,89 \cdot 0,4 = 0,356 \text{ кг/ч}$$

- Определяем количество осадка при влажности $W=95\%$, (формула 11):

$$G_{95\%} = G_{\text{ВЗВ.В.}} \cdot 100 / (100 - W) \quad (11)$$

$$0,356 \cdot 100 / (100 - 95) = 7,12 \text{ кг/ч}$$

- Определяем содержание воды в осадке отстойника (формула 12):

$$G_{2\text{вода+ос}} = (G_{95\%} \cdot W) / 100 \quad (12)$$

$$7,12 \cdot 95 / 100 = 6,764 \text{ кг/ч}$$

- Определяем количество сточной жидкости на выходе из отстойника (формула 13)

$$G_{3\text{ст.ж.}} = G_{2\text{ст.ж.}} - G_{95\%} \quad (13)$$

$$935,7 - 7,12 = 928,58 \text{ кг/ч,}$$

где $Q_{2\text{ст.ж}}$ – количество сточной жидкости на выходе из смесителя равное количеству сточной жидкости на входе в отстойник – 935,7 кг/ч

- Определяем концентрацию взвешенных веществ на выходе из отстойника (формула 14):

$$C_{4\text{взв.в}} = C_{2\text{взв.в}} - C_{3\text{взв.в}} \quad (14)$$

$$0,89 - 0,356 = 0,534 \text{ кг/ч}$$

В таблице 9 представлен материальный баланс отстойника

Таблица 9 – Материальный баланс отстойника

Наименование	Приход, кг/ч	%	Наименование	Расход, кг/ч	%
Речная вода	935,7	100	Сточная вода	928,58	99,24
Вода	785,164	83,912	Вода	778,4	83,19
Взвешенные вещества	0,89	0,1	Взвешенные вещества	0,534	0,057
Осадок			Осадок	7,12	0,76
Всего	935,7	100	Всего	935,7	100

Материальный баланс скорого фильтра

$G_{\text{см}}$, расход исходной смеси, кг/ч,

$C_{\text{см}}$ - концентрация дисперсной фазы в исходной смеси, кг/ч;

$C_{\text{оч}}$ - концентрация дисперсной фазы в очищенной сплошной фазе;

$C_{\text{ос}}$ – концентрация дисперсной фазы в осадке.

$$C_{\text{см}} = 0,534 \text{ кг/ч}$$

$$G_{\text{см}} = 928,58 \text{ кг/ч}$$

- Эффективность очистки (Ξ) принимаем 70%.

Тогда концентрация дисперсной фазы в осадке (формула 15):

$$C_{oc} = C_{cm} \cdot \varepsilon \quad (15)$$

$$0,534 \cdot 0,7 = 0,3738 \text{ кг/ч}$$

- Количество осадка при влажности 95% (формула 16):

$$G_{95\%} = C_{oc} \cdot 100 / (100 - W) \quad (16)$$

$$0,3738 \cdot 100 / (100-95) = 7,476 \text{ кг/ч}$$

- Количество воды на выходе (формула 17):

$$G_{cm} - G_{95\%} \quad (17)$$

$$928,58 - 7,476 = 921,104 \text{ кг/ч}$$

- Содержание воды в осадке (формула 18):

$$G_{2_{\text{вода+ос}}} = (G_{95\%} \cdot 95) / 100 \quad (18)$$

$$(7,476 \cdot 95) / 100 = 7,1 \text{ кг/ч}$$

- Концентрация взвешенных веществ на выходе (формула 19):

$$C_{оч} = C_{cm} - C_{oc} \quad (19)$$

$$0,534 - 0,3738 = 0,16 \text{ кг/ч}$$

В таблице 10 приведен материальный баланс скорого фильтра

Таблица 10 – Материальный баланс скорого фильтра

Наименование	Приход, кг/час	%	Наименование	Расход, кг/час	%
Смесь	928,58	100	Сточная вода	921,104	99,77
Вода	778,4	83,8	Вода	735,452	79,75
Взвешенные вещества	0,534	0,023	Взвешенные вещества	0,16	0,012
-	-	-	Осадок	7,476	0,23
Всего	928,58	100	Всего	928,58	100

Вывод: при анализе полученных данных по материальному балансу технологического участка физико-химической очистки наблюдается снижение содержания взвешенных веществ в воде.

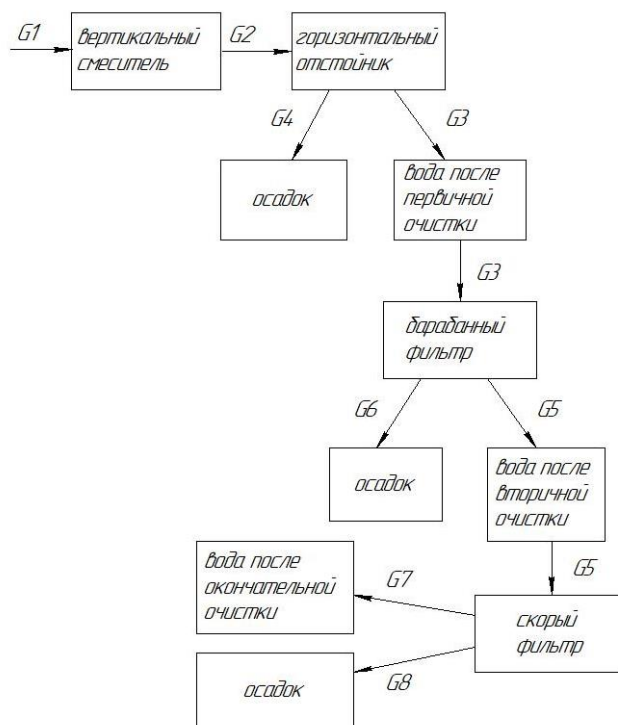
3.3 Материальный баланс технологического участка на ООО«Автоград водоканал» при предлагаемой технологии

Для расчета материального баланса технологического процесса в таблице 11 указаны значения молекулярных масс веществ.

Таблица 11 - Значения молекулярных масс основных веществ, участвующих в реакции

Вещество	Молярная масса, г/моль
H ₂ O	18
HCl	36,46
TiCl ₃	154,225
TiOHCl ₂	135,78

На рисунке 9 представлена схема материального баланса технологического процесса при предлагаемых изменениях



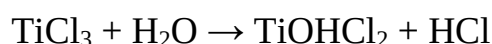
где G1 – количество воды на входе, кг/ч, G2 – количество воды после взаимодействия с реагентами, кг/ч; G3 – количество воды после седиментации, кг/ч; G4 – количество осадка после седиментации, кг/ч; G5 – количество воды после вторичной очистки, кг/ч; G6 – количество осадка после вторичной очистки; G7 – количество воды после конечной очистки и хлорирования, кг/ч; G8 – количество осадка, образованного в результате конечной очистки.

Рисунок 9 – Схема материального баланса водоподготовки с учётом технологического решения

Далее произведен расчет материального баланса процесса коагуляции для TiCl_3

В осветлитель вводится коагулянт TiCl_3 концентрацией 0,6 мг/л = 0,0000006 кг/л

В осветлителе протекают следующие реакции:



Производительность осветлителя ($G_{\text{осв}}$)– 1000 м³/ч = 1000000 дм³/ч

Общая масса воды 785,164 кг = 785164 г

- Общая масса коагулянта TiCl_3 (формула 20):

$$m_{TiCl_3} = C_{TiCl_3} \cdot G_{cm} \quad (20)$$

$$0,00000006 \cdot 1000000 = 0,6 \text{ кг.}$$

- Нашли объём $TiCl_3$ (формула 21):

$$n_{TiCl_3} = m_{TiCl_3} / M_{TiCl_3} \quad (21)$$

$$600 / 154,225 = 3,89 \text{ моль}$$

$$V_{TiCl_3} = (m_{TiCl_3} \cdot V_m \cdot \nu) / M_{TiCl_3} \quad (22)$$

$$(600 \cdot 22,4) / 154,225 = 87,15 \text{ мл} = 0,087 \text{ л}$$

- Масса и объём $TiOHCl_2$ (формулы 23 и 245):

$$n_{TiOHCl_2} = n_{TiCl_3} = 3,89 \text{ моль}$$

$$m_{TiOHCl_2} = n_{TiOHCl_2} \cdot (M_{TiOHCl_2} + M_{H_2O}) \quad (23)$$

$$3,89 \cdot (135,78 + 18) = 598,2 \text{ г}$$

$$V_{TiOHCl_2} = (m_{TiOHCl_2} \cdot V_m \cdot \nu) / M_{TiOHCl_2} \quad (24)$$

$$(598,2 \cdot 22,4) / 342,15 = 39,16 \text{ мл} = 0,039 \text{ л}$$

- Рассчитали объём H_2O (формула 25):

$$V_{H_2O} = (m_{H_2O} \cdot V_m \cdot \nu) / M_{H_2O} \quad (25)$$

$$(785164 \cdot 22,4)/18 = 977092,98 \text{ мл} = 977,092 \text{ л}$$

- Нашли массу и объём HCl (формулы 26 и 27):

$$n_{\text{TiCl}_3} = n_{\text{HCl}} = 3,89 \text{ моль}$$

$$m_{\text{HCl}} = n_{\text{HCl}} \cdot \nu \cdot M_{\text{HCl}} \quad (26)$$

$$3,89 \cdot 36,46 = 141,83 \text{ г} = 0,141 \text{ кг}$$

$$V_{\text{HCl}} = (m_{\text{HCl}} \cdot V_m \cdot \nu)/M_{\text{HCl}} \quad (27)$$

$$(141,83 \cdot 22,4)/36,46 = 87,14 \text{ мл} = 0,087 \text{ л}$$

Данные занесли в таблицу 12.

Таблица 12 – Приход - расход

Вещество	Приход		Вещество	Расход	
	кг/ч	дм ³		кг/ч	дм ³
TiCl ₃	0,6	0,087	TiOHCl ₂	598,2	0,039
H ₂ O	785,164	977,092	HCl	0,141	0,15
-	-	-	H ₂ O	778,4	968,68
Итого	785,78	977,19	Итого	778,575	968,919

Далее произведем расчет материального баланса барабанного фильтра

$G_{\text{см}}, G_{\text{оч}}, G_{\text{ос}}$ – расход исходной смеси, очищенной сплошной фазы и осадка (кг/с); $TX_{\text{см}}, X_{\text{оч}}, X_{\text{ос}}$ – концентрация дисперсной фазы в исходной смеси, в очищенной сплошной фазе и в осадке (кг/ч).

$$C_{\text{см}} = 0,534 \text{ кг/ч}$$

$$G_{\text{см}} = 928,58 \text{ кг/ч}$$

-Эффективность очистки (Ξ) принимаем 60% [4]:

Тогда концентрация дисперсной фазы в осадке (формула 28):

$$C_{oc} = C_{cm} \cdot \Xi \quad (28)$$

$$0,534 \cdot 0,6 = 0,3204 \text{ кг/ч}$$

1. Количество осадка при влажности 95% (формула 29):

$$G_{95\%} = C_{oc} \cdot 100 / (100 - W) \quad (29)$$

$$0,3204 \cdot 100 / (100-95) = 6,408 \text{ кг/ч}$$

Количество сточной воды на выходе (формула 30):

$$G_{cm} - G_{95\%} \quad (30)$$

$$928,58 - 6,408 = 922,172 \text{ кг/ч}$$

2. Содержание воды в осадке:

$$G_{2\text{вода}+oc} = (6,408 \cdot 95) / 100 = 6,0876 \text{ кг/ч}$$

3. Концентрация взвешенных веществ на выходе:

$$C_{оч} = C_{cm} - C_{oc} \quad (31)$$

$$0,534 - 0,3204 = 0,2136 \text{ кг/ч}$$

В таблице 13 данные по материальному балансу барабанного микрофилтра.

Таблица 13 – Материальный баланс барабанного микрофилтра

Наименование	Приход, кг/час	%	Наименование	Расход, кг/час	%
Смесь	928,58	100	Сточная вода	922,172	100
Вода	778,4	83,83	Вода	737,482	79,42
Взвешенные вещества	0,534	0,058	Взвешенные вещества	0,2136	0,023
-	-	-	Осадок	6,408	0,69
Всего	928,58	100	Всего	928,58	100

Далее произведем расчет материального баланса скорого филтра

$G_{см}$, расход исходной смеси, кг/ч,

$C_{см}$, $C_{оч}$, $C_{ос}$ – концентрация дисперсной фазы в исходной смеси, в очищенной сплошной фазе и в осадке (кг/ч).

$$C_{см} = 0,2136 \text{ кг/ч}$$

$$G_{см} = 922,172 \text{ кг/ч}$$

1. Тогда концентрация дисперсной фазы в осадке:

$$C_{ос} = C_{см} \cdot \varepsilon \quad (32)$$

$$0,2136 \cdot 0,7 = 0,15 \text{ кг/ч}$$

2. Количество осадка при влажности 95%:

$$G_{95\%} = C_{ос} \cdot 100 / (100 - W) \quad (33)$$

$$0,15 \cdot 100 / (100-95) = 3 \text{ кг/ч}$$

3. Количество воды на выходе:

$$G_{см} - G_{95\%} \quad (20)$$

$$922,172 - 3 = 919,172 \text{ кг/ч}$$

4. Содержание воды в осадке:

$$G_{2\text{вода}+\text{ос}} = (3 \cdot 95) / 100 = 2,85 \text{ кг/ч}$$

5. Концентрация взвешенных веществ на выходе:

$$C_{оч} = C_{см} - C_{ос} \quad (21)$$

$$0,2136 - 0,15 = 0,0636 \text{ кг/ч}$$

В таблице 14 результаты расчёта материального баланса скорого фильтра.

Таблица 14 – Материальный баланс скорого фильтра

Наименование	Приход, кг/час	%	Наименование	Расход, кг/час	%
Смесь	922,172	100	Сточная вода	919,172	99,77
Вода	737,482	79,97	Вода	735,452	79,75
Взвешенные вещества	0,2136	0,023	Взвешенные вещества	0,0636	0,012
-	-	-	Осадок	3,0	0,23
Всего	922,172	100	Всего	922,172	100

Вывод: при анализе полученных данных по материальному балансу технологического участка физико-химической очистки с учётом внедрения барабанного фильтра наблюдается повышение эффективности очистки воды от взвешенных веществ.

- Тепловой расчет отстойника

- Теплота потока воды, приходящийся в отстойник:

$$Q_{\text{прих.}} = G \cdot C_p \cdot t \quad (22)$$

В зимнее время температура воды в отстойнике 150°С

$$C_p = 4,19 \text{ КДж/кг} \cdot \text{К}$$

$$Q_{\text{прих.}} = 934,25 \cdot 4,19 \cdot (19+273) = 1143036,19 \text{ КДж/ч}$$

- Теплота воды, выходящей из отстойника:

$$Q_{\text{расх.}} = 876,736 \cdot 4,19 \cdot (15+273) = 1057974,866 \text{ КДж/ч}$$

- Потери теплоты:

$$Q_{\text{потери}} = Q_{\text{прих}} - Q_{\text{расх}} \quad (23)$$

$$Q_{\text{потери}} = 1143036,19 - 1057974,866 = 85061,324 \text{ КДж/ч}$$

Потери теплоты составляют 7,44% от теплоты воды, которая пришла в отстойник.

- В летнее время температура воды в отстойнике 190°С

$$Q_{\text{прих.}} = 934,25 \cdot 4,19 \cdot (23+273) = 1158694,22 \text{ КДж/ч}$$

- Теплота воды, выходящей из отстойника:

$$Q_{\text{расх.}} = 876,736 \cdot 4,19 \cdot (20+273) = 1076342,485 \text{ КДж/ч}$$

- Потери теплоты:

$$Q_{\text{потери}} = Q_{\text{прих}} - Q_{\text{расх}} \quad (24)$$

$$Q_{\text{потери}} = 1158694,22 - 1076342,485 = 82351,735 \text{ КДж/ч}$$

Потери теплоты составляют 7,1%.

В таблицах 15 и 16 представлены результаты расчёта теплового баланса в зимнее и летнее время.

Таблица 15 –Тепловой баланс отстойника в зимнее время

Приход	кДж/ч	Расход	кДж/ч
Тепло , приходящее со сточной водой	1143036,19	Тепло, уходящее со сточной водой	1057974,866
-	-	Потери	85061,324
Итого:	1143036,19	Итого:	1143036,19

Таблица 16 –Тепловой баланс отстойника в летнее время

Приход	кДж/ч	Расход	кДж/ч
Тепло , приходящее со сточной водой	1158694,22	Тепло, уходящее со сточной водой	1057974,866
-	-	Потери	85061,324
Итого:	1158694,22	Итого:	1158694,22

При дополнительном внедрении барабанного фильтра и замене оксихлорида алюминия и полиакриламида титановым коагулянтом технологическая схема примет вид (рисунок 10):

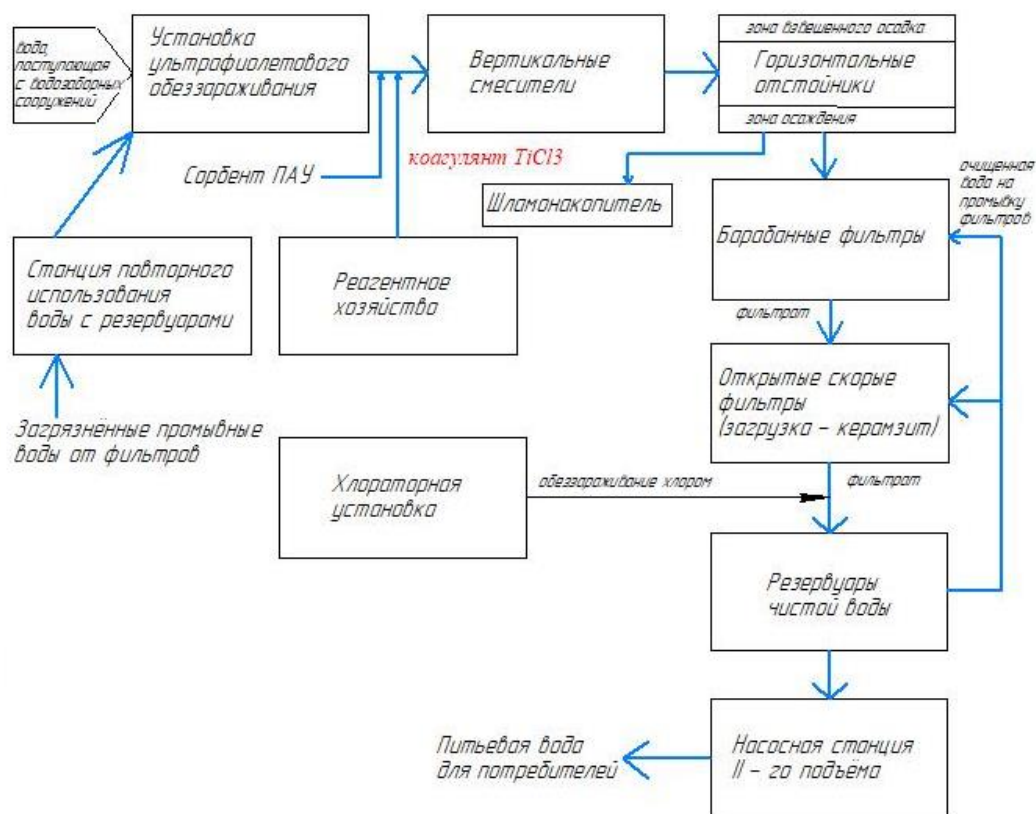


Рисунок 10 – Технологическая схема водоподготовки с учётом технологического решения

Вывод: был рассмотрен вариант оптимизации технологической схемы на ООО «Автоград водоканал» с внедрением барабанных фильтров и заменой коагулянта $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$ на TiCl_3

Заключение

Фильтрация является простым и удобным процессом очистки от взвешенных веществ. При дополнительном включении фильтрации в общий процесс водоподготовки повышается эффективность технологического процесса, а именно: снижается концентрация взвешенных веществ на выходе. Повышение эффективности процесса коагуляции так позволяет снизить концентрацию взвешенных веществ на выходе.

Так, в ходе бакалаврской работы был проведён анализ технологической схемы на ООО «Автоград водоканал», проанализированы причины повышения мутности воды. По ходу анализа в качестве технологического решения для участка технологической схемы водоподготовки был выбран барабанный микрофильтр, в качестве альтернативного реагента был выбран титановый коагулянт (TiCl_3), рассчитаны материальные балансы процесса до и после оптимизации. Результат показал, что общая эффективность очистки от взвешенных веществ повысилась. Таким образом, одним из вариантов решения проблемы мутности воды при процессе её осветления является дополнительное внедрение фильтрационных аппаратов и замена реагентов.

В качестве аппарата очистки от взвешенных веществ и мутности был рассмотрен барабанный фильтр, его устройство и принцип работы. Затем проанализированы результаты лабораторного анализа эффективности коагулянтов и обнаружены различия. Результаты ясно показывают, что титановый коагулянт демонстрирует свою высокую эффективность.

Можно сделать вывод, что в качестве варианта оптимизации технологической схемы мы предлагаем замену существующего коагулянта на титановый коагулянт (TiCl_3) и дополнительное введение барабанных фильтров. Ключевым вопросом дипломной работы является повышение эффективности очистки воды от взвешенных веществ и мутности.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Академик.ру «Хлорид титана (III)» URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1887213>
2. Алексеев, Л.С. Контроль качества воды / Л.С. Алексеев. - М.: ИНФРА-М, 2018. – 756 с URL: <https://bookree.org/reader?file=1471210>
3. Газета Волга Ньюс «Мост через Волгу около Климовки готов на 20%» - Самара, 5 мая. URL: <https://volga.news/article/578420.html>
4. Казанский государственный энергетический университет. Учебное пособие по дисциплине «Химико-технологические процессы, аппараты и режимы» Часть 2 Конструкция и расчёт аппаратов - Казань, 2014 г. - [Электронный ресурс] URL: https://lib.kgeu.ru/irbis64r_15/scan/4781.pdf
5. Касаткин А. Г. «Процессы и аппараты в химической технологии», 1973 г. URL: https://etpeb.ru/A_G_Kasatkin_full.pdf
6. Качалова Г. С. Вода и экология: проблемы и решения. «Коагуляционно-сорбционная очистка сточных вод» - 2019. № 2 (78) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/koagulyatsionno-sorbtsionnaya-ochistka-stochnyh-vod>
7. Коагулянты для хозяйственно – питьевого водоснабжения. Общие требования и метод определения эффективности ГОСТ Р 51642-2000
8. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций взвешенных и прокаленных взвешенных веществ в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом ПНД Ф 14.1:2:4.254-09
9. Межгосударственный стандарт. Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цвета и мутности ГОСТ 3351 – 74
10. Официальный сайт Автоград Водоканал URL: <https://www.avkvoda.ru/about/activities>
11. Постановление. Главный государственный санитарный врач Российской Федерации «О введении в действие санитарных правил и норм

Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения». СанПиН 2.1.4.1110-02 от 14 марта 2002 г. № 10

12. Рахуба А.В., Шмакова М.В. Моделирование распределения мутности воды в Куйбышевском водохранилище

13. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы» URL: <https://docs.cntd.ru/document/901798042>

14. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. - [Электронный ресурс] URL: http://soyuzproekt.narod.ru/ntd_v/sanpin.2.1.4.1074-01-03.htm

15. Сваровская Н. А., Колесников И. М., Винокуров В. А. - Дисперсные системы. Седиментационный анализ суспензий. – Москва, 2014 г

16. Сидорова Л. П. Методы очистки промышленных и сточных вод. Часть 1. Учебное электронное текстовое издание, 2012 г.

17. Современные способы переработки осадков сточных вод и перспективы их использования в России. - [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-sposoby-pererabotki-osadkov-stochnyh-vod-i-perspektivy-ih-ispolzovaniya-v-rossii/viewer>.

18. Advanced Wastewater Treatment Technologies 2016 г. URL: http://www.gcpcenvi.nic.in/Books/Advanced_Wastewater_Treatment_Technologies.pdf ;

19. Ahmad Azisa, Hamza Yusuf, Zulfiya Faisal, Muhammad Suradiya "5th International Conference of the Euro-Asian Civil Engineering Forum (EACEF-5) The impact of water turbidity on reducing the consumption of groundwater recharge in the recharge reservoir" [Электронный ресурс] URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/82263871.pdf>

20. Gaya M. S., Zango M. U., Yusuf L. A., Mamunu Mustafa, Bashir Muhammad, Ashiru Sani, Aminu Tijani, Wahab N. A., Khairi M. T. M. "Turbidity assessment at wastewater treatment plants using the Hammerstein-Wiener method

and neural networks" - Institute of Advanced Technologies and Science, 2017 -
[Электронный ресурс] URL:
<http://ijeecs.iaescore.com/index.php/IJECS/article/viewFile/6521/6258>

21. National Medical Library "Trichloride of titanium" - [Electronic resource] URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Titanium-trichloride#section=2D-Structure>

22. Ross Jones, Natalie Jofre, Heidi Luther M., Jie Lun Neo, Rebecca Fisher, and Alan Duckworth "Coral response to chronic turbidity" - [Electronic resource] URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-61712-w>

23. Safety data sheet of Columbus Chemical Industries Inc "Titanium (III) chloride 20%" - Revised 12.10.2013 - [Электронный ресурс] URL: [https://www.columbuschemical.com/MSDS/SDS/Titanium%20\(III\)%20Chloride%2020%25%205852.pdf](https://www.columbuschemical.com/MSDS/SDS/Titanium%20(III)%20Chloride%2020%25%205852.pdf)

24. Technology transfer: fundamental principles and innovative technical solutions "High-performance titanium coagulants for water purification" - 2017 - [Электронный ресурс] URL: <http://www.eu-jr.eu/ttfpits/article/view/486>

Приложение А

Отчёт по качеству природной поверхностной воды Куйбышевского водохранилища за период с 01.01.2020 г. по 31.12.2020 г.

Таблица А1 - Отчёт по качеству природной поверхностной воды Куйбышевского водохранилища

Наименование показателей	Единица измерения	ПДК	Количество анализов	Концентрация			НД на методику измерения
				Min	Max	Среднее	
2	3	4	5	6	7	8	9
Водородный показатель (рН)	ед. рН	6,5-8,5	732	7,4	8,1	7,8	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121
Сухой остаток (общая минерализация)	мг/дм ³	≤ 1000	15	204	283	258	ПНД Ф 14.1:2:4.114
Жёсткость общая	° Ж	≤ 7	14	2,4	3,5	3,1	ГОСТ 31954
Окисляемость перманганатная	мг/дм ³	≤ 7	696	5,9	11,0	7,9	ПНД Ф 14.1:2:4.154
Нефтепродукты	мг/дм ³	≤ 0,1	38	менее 0,011	0,0192	менее 0,011	ПНД Ф 14.1:2:4.128
Анионактивные поверхностно-активные вещества (АПАВ)	мг/дм ³	≤ 0,2	22	менее 0,025	менее 0,025	менее 0,025	ПНД Ф 14.1:2:4.158
Фенолы (общие и летучие)	мг/дм ³	≤ 0,001	25	менее 0,0005	0,00100	0,00073	ПНД Ф 14.1:2:4.182
Алюминий	мг/дм ³	≤ 0,2	5	менее 0,01	0,025	менее 0,01	ПНД Ф 14.1:2:4.181
Барий	мг/дм ³	≤ 0,7	4	менее 0,05	0,06	менее 0,05	ГОСТ 31869
Бор суммарно	мг/дм ³	≤ 0,5	4	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	ПНД Ф 14.1:2:4.36
Бериллий	мг/дм ³	≤ 0,0002	3	менее 0,00002	менее 0,00002	менее 0,00002	ПНД Ф 14.1:2:4.140
Железо (общее)	мг/дм ³	≤ 0,3	44	0,063	0,430	0,187	ПНД Ф 14.1:2:4.50
Кадмий	мг/дм ³	≤ 0,001	4	менее 0,0002	менее 0,0002	менее 0,0002	ГОСТ 31870 (метод 1)
Марганец	мг/дм ³	≤ 0,1	54	0,0040	0,0520	0,0140	ГОСТ 31870 (метод 1)
Медь	мг/дм ³	≤ 1	16	менее 0,001	0,0018	менее 0,001	ГОСТ 31870 (метод 1)
Молибден	мг/дм ³	≤ 0,07	4	менее 0,001	менее 0,001	менее 0,001	ГОСТ 31870 (метод 1)
Мышьяк	мг/дм ³	≤ 0,01	4	менее 0,005	менее 0,005	менее 0,005	ГОСТ 31870 (метод 1)
Никель	мг/дм ³	≤ 0,02	5	менее 0,005	менее 0,005	менее 0,005	ГОСТ 31870 (метод 1)
Аммония ионы	мг/дм ³	≤ 1,8	4	0,066	0,25	0,14	ПНД Ф 14.1:2:4.262
Нитрит-ионы	мг/дм ³	≤ 3,3	4	0,008	0,03	0,015	ГОСТ 33045 (метод Б)
Нитрат-ионы	мг/дм ³	≤ 45	4	1,23	3,10	2,26	ПНД Ф 14.1:2:4.4
Ртуть суммарно	мг/дм ³	≤ 0,0005	4	менее 0,00005	менее 0,00005	менее 0,00005	ПНД Ф 14.1:2:4.160
Свинец	мг/дм ³	≤ 0,01	4	менее 0,002	менее 0,002	менее 0,002	ГОСТ 31870 (метод 1)
Селен	мг/дм ³	≤ 0,01	4	менее 0,002	менее 0,002	менее 0,002	ГОСТ 31870 (метод 1)
Стронций	мг/дм ³	≤ 7	4	менее 0,5	0,54	менее 0,5	ГОСТ 31869
Сульфаты (сульфат-ионы)	мг/дм ³	≤ 500	6	30	55	43	ГОСТ 31940 (раздел 2)
Фторид-ионы (фториды)	мг/дм ³	≤ 1,5	4	менее 0,1	менее 0,1	менее 0,1	ПНД Ф 14.1:2:3:4.179
Хлорид-ионы (хлориды)	мг/дм ³	≤ 350	4	18,8	31,1	24,6	ГОСТ 4245 (раздел 2)
Хром (VI)	мг/дм ³	≤ 0,05	4	менее 0,025	менее 0,025	менее 0,025	ГОСТ 31956 (метод А)

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А1

Цианиды	мг/дм ³	≤ 0,035	6	менее 0,01	менее 0,01	менее 0,01	ГОСТ 31963
Цинк	мг/дм ³	≤ 1	4	менее 0,005	менее 0,005	менее 0,005	ГОСТ 31870 (метод 1)
Гамма – ГХЦГ (линдан)	мкг/дм ³	≤ 20,0	4	менее 0,1	менее 0,1	менее 0,1	ГОСТ 31858
ДДТ (4,4'-дихлордифенилтрихлорэтан)	мкг/дм ³	≤ 100,0	4	менее 0,1	менее 0,1	менее 0,1	ГОСТ 31858
2,4-Д	мг/дм ³	≤ 0,03	5	менее 0,0002	менее 0,0002	менее 0,0002	ГОСТ 31941
Хлороформ	мг/дм ³	≤ 0,06	5	менее 0,0006	0,00075	менее 0,0006	ГОСТ 31951
Кремнекислота (в пересчете на кремний)	мг/дм ³	≤ 10	5	2,5	3,6	3,4	ПНД Ф 14.1:2:4.215
Ортофосфаты (фосфат-ионы)	мг/дм ³	≤ 3,5	4	0,12	0,29	0,25	ГОСТ 18309
Запах	балл	≤ 2	732	1	1	1	ГОСТ Р 57164
Цветность	градус цветности	≤ 35	732	23	58	39	ГОСТ 31868
Мутность	ЕМФ	≤ 34,6	1011	менее 1	56,00	6,80	ПНД Ф 14.1:2:4.213
Температура	°С	-	732	0,90	21,50	9,27	РД 52.24.496
Щёлочность общая	ммоль/дм ³	-	732	1,37	2,80	1,97	ГОСТ 31957 (п.5.4.2 способ 1)
Растворённый кислород	мг/дм ³	≥ 4	34	4,00	11,60	8,60	ПНД Ф 14.1:2:3.101
Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мгО ₂ /дм ³	2	21	менее 0,5	1,49	0,53	ПНД Ф 14.1:2:3.4.123
Стабильность	-	-	141	0,90	1,02	0,97	-
Зоопланктон	экз/м ³	-	36	19	1523	252	-
Фито-планктон	диатомовые	кл./см ³	36	менее 1	5	1,65	-
	сине-зелёные			0	2	0,38	
	зелёные			0	2	0,67	
Термотолерантные колиформные бактерии	КОЕ/100см ³	≤ 100	534	не обнаружено	240,00	2,23	МУК 4.2.1884
Общие колиформные бактерии	КОЕ/100см ³	≤ 1000	534	не обнаружено	240,00	5,60	МУК 4.2.1884
Общее микробное число	КОЕ/ 1 см ³	-	507	не обнаружено	102,00	25	МУК 4.2.1884
Колифаги	БОЕ/100 см ³	≤ 10	77	не обнаружено	9,00	4	МУК 4.2.1884
Споры сульфитредуцирующих кловтридий	КОЕ/ 20 см ³	-	57	не обнаружено	17	не обнаруже но	МУК 4.2.1884
Цисты патогенных кишечных простейших	Число цист/25дм ³	отсутст в.	13	не обнаружено	не обнаруже но	не обнаруже но	МУК 4.2.1884
Яйца гельминтов жизнеспособные	Число яиц/25 дм ³	отсутст в.	13	не обнаружено	не обнаруже но	не обнаруже но	МУК 4.2.2314
Ооцисты Криптоспоридий	Число цист/25дм ³	отсутст в.	13	не обнаружено	не обнаруже но	не обнаруже но	МУК 4.2.2314
Бактерии рода Сальмонелла	Число бактерий в 1,0 дм ³	отсутст в.	11	не обнаружено	не обнаруже но	не обнаруже но	МУ 4.2.2723
Бактерии рода Шигелла	Число бактерий в 1,0 дм ³	отсутст в.	0	не обнаружено	не обнаруже но	не обнаруже но	МУ 4.2.2723
Взвешенные вещества	мг/дм ³	-	2	менее 0,5	0,95	0,63	ПНД Ф 14.1:2:4.254
Удельная суммарная α-радиоактивность	Бк/кг	≤ 0,2	0	0	0	менее 0,05	МВИ суммарной объемной активности альфа-излучающих и бета- излучающих радионуклидов в питьевой воде, воде водосточника и природных водах с помощью альфа- бета радиометра
Удельная суммарная β-радиоактивность	Бк/кг	≤ 1,0	0	0	0	менее 0,2	