

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 очистки сточных вод на городских сооружениях

Обучающийся

А.В. Нахалова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент, Кравцова М.В

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023



Росдистант

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННО

Аннотация

Тема работы: «Оптимизация технологии очистки сточных вод на городских сооружениях».

Научный руководитель: к.п.н., доцент Кравцова М.В.

Целью представленной работы является предложение технического решения, позволяющего осуществлять водоподготовку требуемого качества в условиях повышения цветности и мутности воды в поверхностном источнике.

В работе представлена системы водоподготовки предприятия ООО«СамРэкЭксплуатация», осуществляющего водоподготовку для г.Жигулевск.

На основе проведенных анализов выявлено превышение по мутности, цветности и взвешенным веществам. Анализ причин такого превышения (строительство моста через Климовку, гидрологические особенности Волжского бассейна и т.д.) позволили сделать вывод о необходимости оптимизации технологической схемы – внедрение в работу процесса коагуляции. Анализ новейших технологических исследований позволил предложить современный коагулянт - оксихлорид алюминия. Применение оксихлорида алюминия, повышает скорость коагуляции коллоидных частиц органических и неорганических загрязнений, не подщелачивая воду и обеспечивает более высокое качество очистки воды без каких-либо отложений и с минимальным содержанием остаточного алюминия в воде.

Предложена оптимизация режимов подачи коагулянта с использованием сопла Вентури.

Проведены расчеты реагентного хозяйства. Определен объем коагулированного осадка. Показана экономическая и экологическая эффективность путем сравнения предлагаемого коагулянта с традиционным использованием сульфата алюминия.

Бакалаврская работа изложена на 52 листах, включает 10 таблиц, 15 рисунков, 56 литературных источников, 11 иностранных источников.

Содержание

Введение.....	4
1 Общая характеристика системы водоподготовки предприятия.....	6
1.1 Технологические особенности водозабора г. Жигулевск.....	6
1.2 Анализ существующей система очистки.....	6
1.3 Анализ состава качества воды.....	8
1.4 Оценка влияния сине-зеленых водорослей на качество водоподготовки.....	14
1.5 Проведение лабораторных исследований.....	15
2 Выбор и обоснование предлагаемой модернизации.....	20
2.1 Предложение по коагуляции. Выбор и обоснование коагулянта.....	20
2.2 Расчет реагентного хозяйства.....	27
2.3 Оптимизация дозирования реагентов.....	32
2.4 Математическое обоснование работы инжекторного дозатора коагулянта.....	37
2.5 Анализ состава коагулированного осадка.....	39
Заключение.....	45
Список используемой литературы и используемых источников.....	46

Введение

Предприятие ООО ООО «СамРэкЭксплуатация» осуществляет водоподготовку для г.Жигулевска из поверхностного источника – Волжского бассейна. В городе Тольятти – сосредоточены предприятия химической промышленности, сточные воды которых содержат повышенные концентрации азота аммонийного, азота нитритного, что вносит существенный вклад в эвтрофикацию водохранилища, которое в свою очередь влечет массовой развитие фитопланктона, качество воды в летне-осенний период года по концентрации фитопланктона превышает более чем в 4 раза допустимый норматив для водоисточников согласно ГОСТ 2761-84, концентрация микроводорослей в отдельные дни превышает 400 000 кл/мл [22].

Строительство Климовского моста также оказывает свое негативное влияние на качество вод поверхностного источника. Строительство столь масштабного сооружения влечет за собой поднятие донных отложений и взвесей, что приводит к резкому повышению мутности воды.

Качество питьевой воды г.Жигулевска напрямую зависит от качества воды поверхностного источника. За исследуемый период 2021-2022 г. в водопроводной воде г.Жигулевска неоднократно наблюдалось превышение норм СанПин 2.1.4.1074-01 по следующим показателям: цветности -1,4ПДК; мутности – 3,1 ПДК.

«Из-за наличия высоких концентраций сине-зеленых водорослей в прудовой воде плохо работают отстойные сооружения. Отмечается повышенный вынос взвешенных веществ из отстойников на фильтры» [34]. «Осадок в отстойниках содержит большое количество органических веществ и имеет тенденцию к загниванию, что приводит к появлению в воде устойчивого неприятного запаха» [6], [34]. Самарский регион является флагманом химической промышленности, сточные воды которой содержат аммонийный азот, нитриты, нитраты, фосфат-ионы и другие вещества,

являющиеся «продуктами питания» для синезеленых водорослей. Соответственно необходимо с учетом всех этих факторов предложить рациональное решение по стабилизации качества водоподготовки на пролонгированный период.

Целью представленной работы является предложение технического решения, позволяющего осуществлять водоподготовку требуемого качества в условиях повышения цветности и мутности воды в поверхностном источнике.

Задачи:

- проанализировать существующую технологическую схему водоподготовки;
- провести лабораторные исследования качества воды, поступающей на водоочистку;
- предложить технические решения по стабилизации качества воды.

И обосновать предлагаемые решения расчетами.

1 Общая характеристика системы водоподготовки предприятия

1.1 Технологические особенности водозабора г. Жигулевск

«Водозабор осуществляется в 45 м от берега на глубине около 17 м, в месте сильного течения, где обеспечивается максимально возможное перемешивание поверхностных вод» [19], [20], [35].

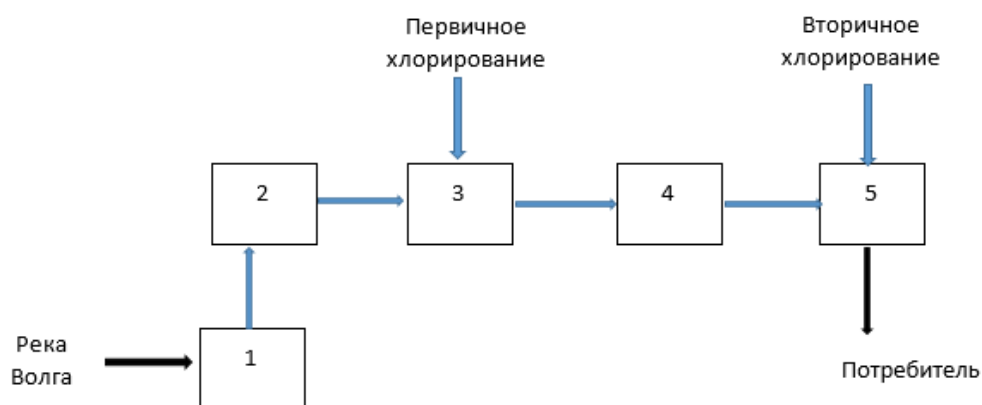
Конструктивно вода подается по двум водоводам, диаметрами 600 и 700мм на станцию первого подъема (четыре насоса марки 350Д-90 производительностью 1260 м³/ч каждый, два резервных), затем вода проходит технологическую схему очистных сооружений, после которой подаётся через станцию второго подъема в г.Жигулевск. В случае понижения уровня воды в Куйбышевском водохранилище в летний период водозабор оборудован четырьмя подкачивающими глубинными насосами ОМПВ 1000-11,6 производительностью 1000 м³/ч каждый, установленными в наклонных трубопроводах [21], [30].

1.2 Анализ существующей система очистки

«В час водозабором подается воды на НФС (Насосно-фильтровальная станция) примерно от 1300- 1500 м³/ час. За сутки поднимается 30000-36000м³. Вода, прошедшая через одноступенчатую очистку, подается по двум водоводам d=600мм и d=700мм на очистные сооружения НФС» [35].

Вода, подаваемая на станцию, поступает первым этапом на барабанные сетки (три аппарата), на которых происходит осаждение крупных взвешенных примесей. Заложённая при строительстве очистных производительность барабанных сеток 20000 м³/ сут. диаметром равным 1,5 м, длиной 2 м (рисунок 1).

Пройдя через водосливы, поступает в карманы барабанных сеток, из них по трубопроводам, в которые подается хлор для первичного хлорирования.



1 - насосная станция первого подъема + УФО; 2 – барабанные решетки; 3 – смеситель;
4 – осветлитель со взвешенным осадком; 5 – резервуар чистой воды

Рисунок 1 – Принципиальная схема очистки

На предприятии в 2002 г были установлены установки ультрафиолетового обеззараживания с целью снижения концентрации первичного хлорирования. Доза хлора принята 3-10 мг/л (и зависит от качества поступающей воды). Хлорирование происходит до остаточной концентрации активного хлора в резервуаре чистой воды 1,0 мг/л (производительность по хлору 12 кг/час). Емкость контактного резервуара 260 м³ (время пребывания воды 12,3 мин). «По-новому СанПин 2.1.4.1074-01 при согласовании с Управлением Роспотребнадзором по Самарской области и с учетом состояния разводящих сетей разрешено увеличивать концентрацию свободного хлора до 0,8 мг/л, а в сложные периоды до 1 мг/л» [5], [25], [36], [38].

Вода, смешанная с хлором, поступает в контактный резервуар, после которого следующим этапом очистки идет смеситель с дырчатыми перегородками. После смесителя вода подается на восемь контактных осветлителей, в которых фильтрующим материалом является ОДМ 2Ф.

Интенсивность промывки принята 14л/сек/м², продолжительность промывки 8 минут, подача промывного расхода от водонапорной башни с емкостью бака 500 м³, расход на одну промывку составляет 225 м³.

Промывку осветлителей проводят через 24 часа или 36 часов в зависимости от степени загрязнения. При этом промывные воды сбрасываются через рассеивающий выпуск в Саратовское водохранилище через систему ливневой канализации города Жигулевска [6], [7].

«Очищенная вода по трубопроводам собирается в резервуарах 2х2000 м³, 2х500 м³ вместе 5000 м³. После резервуаров вода самотеком поступает на станцию второго подъема» [17], [18], [43].

1.3 Анализ состава качества воды

В 2021 и 2022 гг. в питьевой воде были выявлены несоответствие холодной воды санитарным нормам не только по цветности и мутности, но и наличию колиформных бактерий.

За исследуемый в работе период 2015-2022 г. в водопроводной воде г.Жигулевска неоднократно наблюдалось превышение норм СанПин 2.1.4.1074-01 по следующим показателям: цветности -1,4ПДК, мутности – 3,1 ПДК.

Из-за наличия высоких концентраций сине-зеленых водорослей в Волжской воде плохо работают отстойные сооружения.

В таблице 1 представлены данные по забираемой воде из Куйбышевского водохранилища на декабрь 2022 года.

На рисунке 2 представлена план-схема насосно-фильтровальной станции.

План-схема НФС

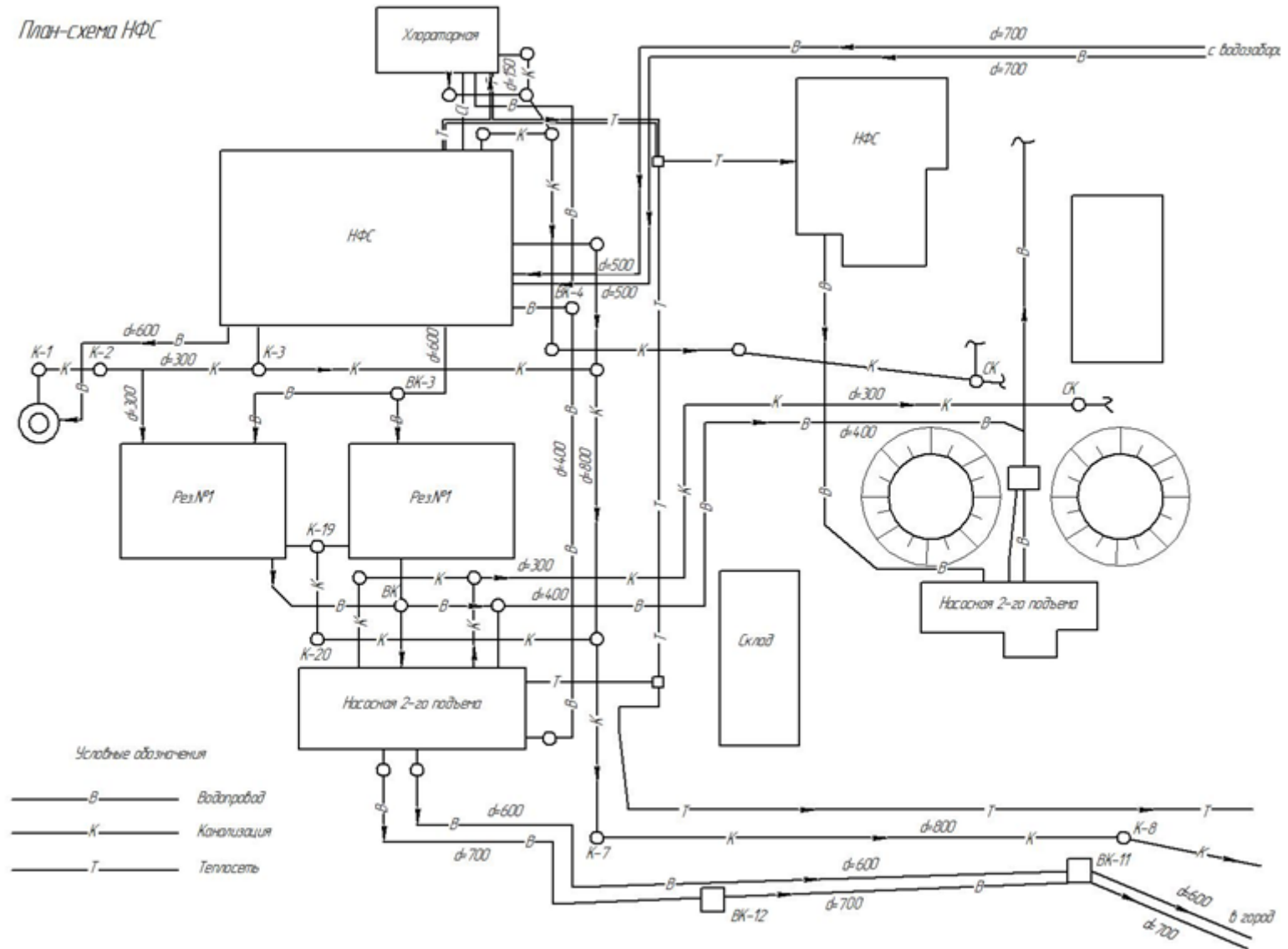


Рисунок 2- План-схема насосно-фильтровальной станции

Таблица 1 – Результаты исследования забираемой воды в декабре 2022 г

№	Наименование определяемых показателей	СанПиН 2.1.4. 1074-01	Результат исследований	Единицы измерения.	Документы, устанавливающие правила и методы исследований (испытаний) и измерений
	1	2	3	4	5
1	Запах	2	1/2	балл	ГОСТ 3351-74, разд. 2
2	Вкус	1	-	балл	ГОСТ 3351-74, разд. 3
3	Мутность	1,5	2,1	ЕМФ	ГОСТ 3351-74, разд. 5
4	Цветность	20 ¹	34,7	градусы	ГОСТ 31868-2012, метод Б
5	Водородный показатель pH	6-9	8,24	ед pH.	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97
6	Окисляемость перманганатная	5,0	8,2	мг/ дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.154-99
7	Общая минерализация (сухой остаток)	1000	255	мг/дм ³	ГОСТ 18164-72
8	АПАВ	0,5	<0,01	мг/дм ³	РД 52.24.368-2006
9	Общая щелочность	Не нормируется	2,2	мг-экв/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.245-2007

Продолжение таблицы 1

	1	2	3	4	5
10	Азот аммонийный (NH ₄ ⁺)	2,0	0,34	мг/дм ³	ГОСТ 4192-82, разд. 3
11	Нитрит-ион	3,0	0,09	мг/дм ³	ГОСТ 4192-82, разд. 4
12	Нитраты (по NO ₃ -)	45,0	2,7	мг/дм ³	ГОСТ 18826-73
13	Жесткость (общая)	7,0	4,0	° Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А
14	Железо (Fe, суммарно)	0,3	0,30	мг/дм ³	ГОСТ 4011-72, разд. 2
15	Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	500	58	мг/дм ³	ГОСТ 31940-2012, метод 3
16	Хлориды (по Cl ⁻)	350	21,4	мг/дм ³	ГОСТ 4245-72, разд. 2
17	Фторид (F ⁻)	1,5	0,24	мг/дм ³	ГОСТ 4386-89, вариант А
18	Алюминий (Al ³⁺)	0,5	-	мг/дм ³	ГОСТ 18165-2014, метод Б
19	Марганец (Mn, суммарно)	0,1	-	мг/дм ³	ГОСТ 4974-2014, вариант 3
20	Остаточный активный хлор	0,5	-	мг/дм ³	ГОСТ 18190-72, разд. 2
21	Цинк (Zn ²⁺)	5,0	-	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.149-99
22	Медь (Cu, суммарно)	1,0	-	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.149-99
23	Кадмий (Cd, суммарно)	0,001	-	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.149-99
24	Свинец (Pb, суммарно)	0,03	-	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.149-99

Продолжение таблицы 1

	1	2	3	4	5
25	Никель (Ni, суммарно)	0,1	-	мг/дм ³	РД 52.24.494-2006
26	Биохимическая потребность в кислороде (БПК ₅)	4	1,5	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97
27	Взвешенные вещества	0,75	970	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.254-2009
28	Хром (Cr ⁶⁺)	0,05	-	мг/дм ³	РД 52.24.446-2008
29	Полифосфаты (по PO ₄ ³⁻)	3,5	0,23	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.112-97
Микробиологический анализ					
30	Общее микробное число	Не более 50 в 1мл	0	ОМЧ	Микробиологический МУК 4.2.1018-01
31	Общие колиформные бактерии	Отсутствие в 100 мл	3,75	КОЕ	Микробиологический МУК 4.2.1018-01
32	Термотелерантные колиформные бактерии	Отсутствие в 100 мл	3,75	КОЕ	Микробиологический МУК 4.2.1018-01

Проанализированные приоритетные загрязнители из таблицы 1 сведены в таблицу 2.

На рисунке 3 представлен анализ по приоритетным загрязнителям

Таблица 2 - Результаты исследования забираемой воды в декабре 2022 г. по основным показателям цветность, мутность, железо и взвешенные вещества

Показатели	СанПин 2.1.4.1074-01	Результат исследования	Единицы измерения
Цветность	20	34,7	градусы
Мутность	1,5	2,1	ЕМФ
Железо	0,3	0,3	мг/д ³
Взвешенные вещества	0,75	970	мг/д ³

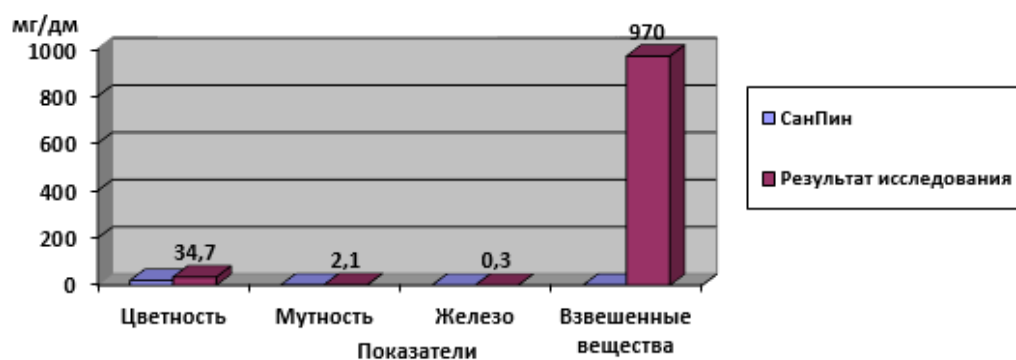


Рисунок 3 – Анализ по приоритетным загрязнителям

Проведенный анализ позволил выявить приоритетные загрязнители: цветность, мутность, взвешенные вещества, железо.

1.4 Оценка влияния сине-зеленых водорослей на качество водоподготовки

Водоподготовка в Российской Федерации осуществляется по нормативному документу СанПиН 2.1.4.1074-01 [5,43]. На данный момент существует серьезная проблема, связанная с эвтрофикацией водоемов, к которому приводит массовое развитие цианобактерий (вызывают ухудшение органолептических свойств воды, выделение в процессе развития цианобактерий токсинов, который обладают канцерогенными, мутагенными свойствами) [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52], [53], [54], [55], [56]. Анализ научных статей по направлению изучения жизнедеятельности цианобактерий и способов устранения микроводорослей при подготовке питьевой воды [4,10,48,51] позволяет выделить два основных направления: акустическое воздействие на организмы, разрушающее их клетки и химической – использование реагентов. В [49],[50] представлены результаты проведенных исследований группой ученых, на предмет предотвращения роста синезеленых водорослей при успешном применении традиционных реагентов хлорида железа, сульфата алюминия и меди. В озеро Коуртиль (Франция) добавляли сульфат алюминия в период паводка, в результате удалось добиться сокращения численности цианобактерий. Аналогичные исследования проводятся у нас в России группой экспертов [1], [2], [3], [7]. Результаты их экспериментов подтвердили целесообразность использования реагентов при водоподготовке как направление борьбы с синезелеными водорослями и позволили сделать вывод, что при слишком большой или малой концентрации реагента в процессе мутаций организмов происходит быстрая адаптация водорослей к изменившимся условиям, следовательно, важно:

– правильно подобрать дозу реагента, причем ее необходимо корректировать исходя из реальных условий качества воды поверхностного источника, которые подвержены влиянию сезонности;

– выбор самого реагента необходимо производить, опираясь на качественные характеристики воды.

1.5 Проведение лабораторных исследований

Для предоставления информации о качестве водоподготовки и оценке состояния объекта исследования - реки Волги были проведены следующие лабораторные исследования на базе лаборатории предприятия в рамках прохождения преддипломной практики.

1.5.1 Анализ свободного хлора

Изменение содержания свободного хлора в питьевой воде после очистки на водопроводной станции г. Жигулёвска за период январь-май 2023 г. В таблице 3 представлены изменения содержания свободного хлора в питьевой воде после очистки на водопроводной станции г. Жигулёвска 2023 г. На рисунке 4 представлены максимальные и минимальные концентрации свободного хлора.

Таблица 3 - Изменение содержания свободного хлора в питьевой воде после очистки на водопроводной станции г. Жигулёвска 2023.г.

Месяц	max(мг/л)	min(мг/л)	ПДК (мг/л)
Январь	0,78	0,62	0,5
Февраль	0,81	0,66	
Март	0,78	0,66	
Апрель	0,82	0,67	
Май	0,77	0,67	

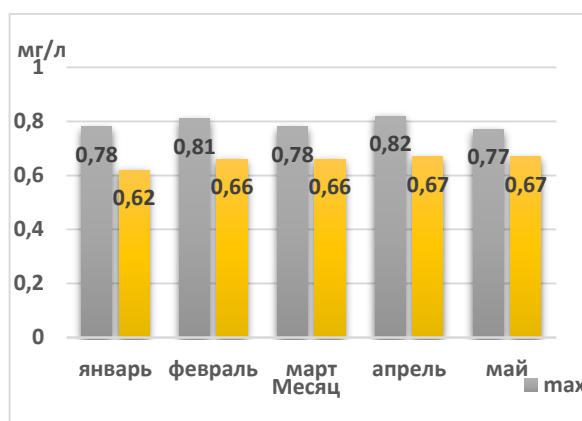


Рисунок 4 - Максимальные и минимальные концентрации свободного хлора

Анализ информации, представленной на рисунке 4 позволяет сделать вывод, что концентрации свободного хлора выше допустимых показателей.

1.5.2 Анализ активного хлора

Изменение содержания активного хлора в питьевой воде после очистки на водопроводной станции г. Жигулёвска за период январь-май 2023г.г. На рисунке 5 представлен анализ концентраций активного хлора за указанный период.

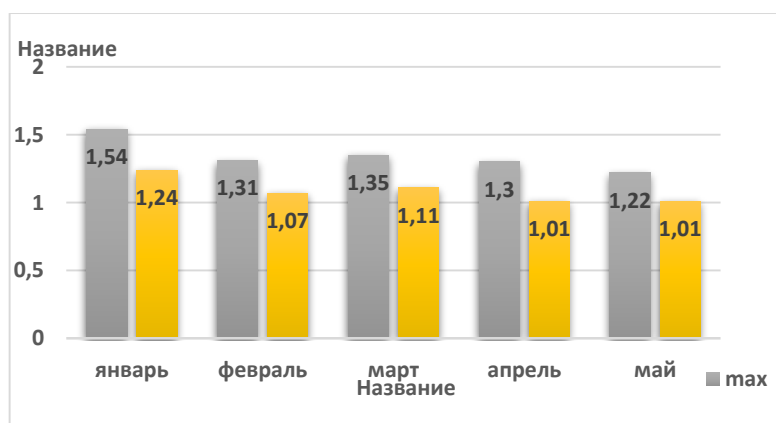


Рисунок 5 - Максимальные и минимальные концентрации активного хлора

Анализ информации, представленной на рисунке 5 позволяет сделать вывод, что концентрации активного хлора выше допустимых показателей (0,3-0,5 мг/л).

1.5.3 Анализ окисляемости

Были проведены лабораторные исследования по окисляемости воды непосредственно в поверхностном источнике (Куйбышевское водохранилище) и чистой (подготовленной) воды из резервуара чистой воды. Исследования проводились в лаборатории предприятия ООО «СамРэк Эксплуатация». Результаты представлены в таблицах 4-5 и на рисунках 6-7.

Таблица 4 - Окисляемость за январь и февраль 2023 года месяц (р.Волга)

мин(мг/л)	мак(мг/л)	сред(мг/л)	ПДК (мг/л)
6,91	9,44	7,8	
7	9,76	8,53	

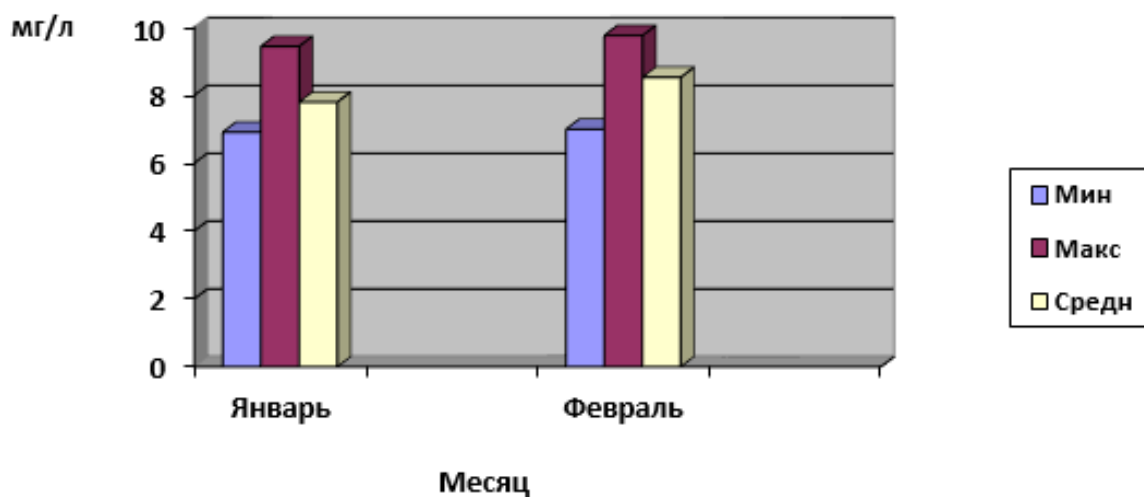


Рисунок 6 – Показатели окисляемости воды за январь и февраль месяц (р. Волга)

Таблица 5 - Окисляемость за январь и февраль месяцы 2023г. (резервуар)

мин(мг/л)	мак(мг/л)	сред(мг/л)
5,15	7,44	6,54
6,05	9	7,47

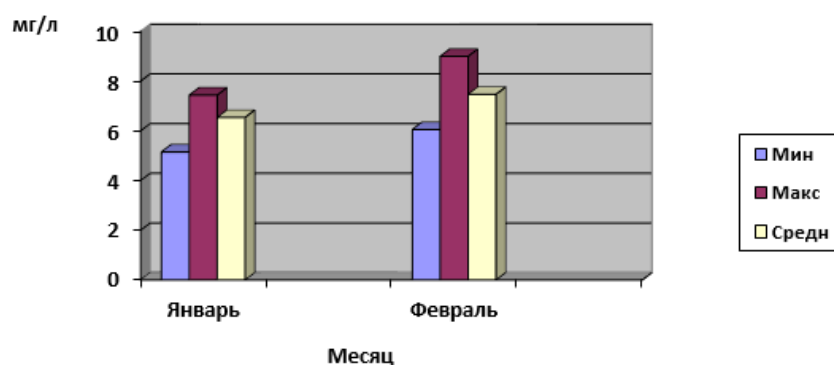


Рисунок 7 – Показатели окисляемости воды за январь и февраль месяцы 2023 г (резервуар)

Анализ информации, представленной на рисунке 7 позволяет сделать вывод, что показатели окисляемости воды выше допустимых показателей (5 мг/л).

1.5.4 Анализ цветности

В период с января по май 2023 года по среднемесячным значениям колебалась в пределах 13 град. ПКШ (январь 2021г) цветность колебалась от 27-38 градусов по СанПин 2.1.4.1074-01.

В 2023 году по среднемесячным значениям колебалась в пределах 13 град. ПКШ (январь 2021г) цветность колебалась от 27-38 градусов по СанПин 2.1.4.1074-01. В таблице 6 представлены результаты проведенных исследований в период с января по май 2023г. Графическое изображение представлено на рисунке 8.

Таблица 6 - Изменение показания цветности в питьевой воде за 2023 г. (среднее значение)

Месяц	max	min	среднее значение	ПДК	Единицы измерения
Январь	16,3	12,61	15,2	20	градусы
Февраль	18,3	13,1	14,01		градусы
Март	19,6	13,1	13,53		градусы
Апрель	19,1	13,17	13,53		градусы
Май	19	16,61	17,5		градусы

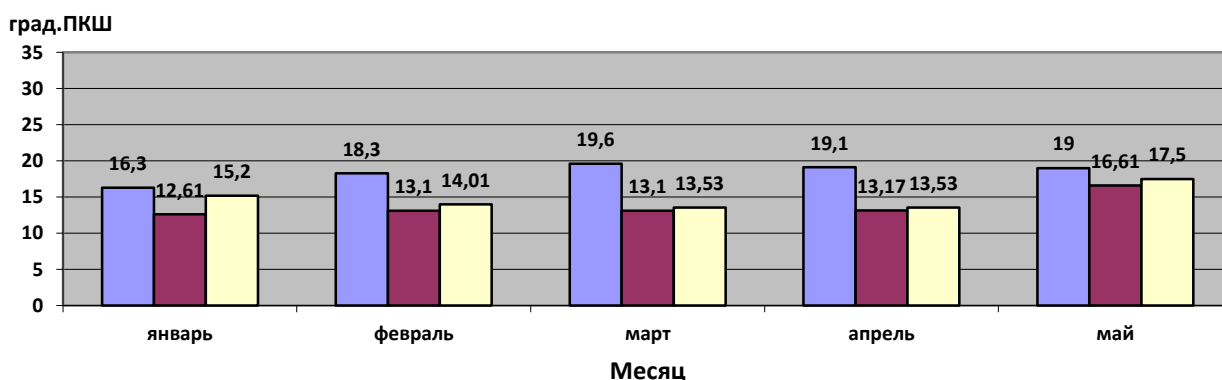


Рисунок 8 – Анализ цветности в питьевой воде по месяцам

Анализ информации, представленной на рисунке 8 позволяет сделать вывод, что цветность воды находится в диапазоне допустимых значений.

Выводы по первому разделу:

За период 2015-2023 год водозабор из поверхностного источника характеризуется:

– -высокой цветностью в отдельные периоды паводка и цветения планктона. Повышение мутности в летний период, особенно в августе месяце. Концентрация взвешенных веществ достигает 970мг/л;

– - высоким показателем перманганантной окисляемости (косвенно говорит о высокой концентрации легкоокисляемых органических соединений) Сезонное колебание нитратов.

В весенне-летние периоды периодически наблюдается повышенное содержание аммиака до 0,24 мг/л.

Действующая технологическая схема очистных сооружений принципиально не обладает техническими возможностями по снижению концентрации взвешенных веществ в сточной воде. Необходимо предложить экономически целесообразное решение без серьезной модернизации объекта.

2 Выбор и обоснование предлагаемой модернизации

2.1 Предложение по коагуляции. Выбор и обоснование коагулянта

С учетом имеющегося строительства моста через село Климовка в ближайшие 2-3 года будет наблюдаться повышенная цветность и мутность воды, что связано с технологическими моментами строительства, а именно установка свай. При установке свай поднимаются донные отложения что вызывает изменение состава качества вод поверхностного источника.

Предлагается предложить оптимальные решения по обеспечению необходимого качества водоподготовки на предприятии, причём решения должны быть минимальными по финансовым затратам.

Анализ технической информации [1], [2], [3], [10], [26], [27], [28] показал, что оптимальным вариантом, с учетом экономического фактора является коагуляция.

«Коагулянты - это соли, образованные слабым основанием и сильной кислотой, которые попадая в воду подвергаются гидролизу с образованием труднорастворимых гидроокисей [23]. Образующиеся хлопья гидроокисей адсорбируют частицы примесей из воды и выпадают вместе с ними в осадок» [12], [9],[13], [16]. На рисунке 9 схематично представлены физические основы процесса.

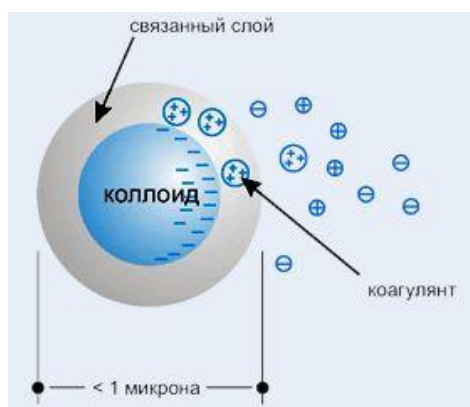


Рисунок 9 – Физические основы коагуляции [42]

Выбор коагулянта зависит от:

- кислотности обрабатываемой среды;
- требуемой степени очистки воды;
- и характера выделяемого осадка.

«Повысить глубину очистки воды на действующих водопроводных станциях можно за счет применения композиционных коагулянтов нового поколения (товарный знак УНИКО), обладающих высокими коагулирующими свойствами и бактерицидным эффектом» [1]. «При использовании для очистки воды коагулянта У-ОХА/10/5 показатели мутности отстоянной воды, концентрации остаточного алюминия и показателя перманганатной окисляемости были в 1,5 – 2 раза меньше, чем с сульфатом алюминия» [1-3].

Гидролиз солей сопровождается выделением катионов водорода и понижением рН воды. Выбор коагулянта: оксихлорид алюминия

В технической литературе [1-5, 10,12-21] показано, что использование традиционного сульфата алюминия не позволяет достичь необходимых показателей по остаточному алюминию, это то же немаловажный показатель, который необходимо учитывать при выборе коагулянта, так как требования по его содержанию постоянно ужесточаются. «В настоящее время проявляется повышенный интерес к исследованию поведения оксихлорида алюминия в различных условиях» [1], [3], [4], [37].

«Оксихлорид алюминия обладает способностью образовывать комплексные соединения со многими органическими и неорганическими веществами в воде. Это связано с тем, что он имеет так называемую поверхностную кислотную оболочку. Это свойство обеспечивает максимально высокую эффективность очистки воды от взвешенных веществ и металлов» [3]. «Исследовали пяти основных образцов коагулянтов различного состава: три из них УНИКО-СА/4, УНИКО-СА/5 и УНИКО-СА/6 состоят из сульфата алюминия с активной частью по Al_2O_3 7,5 % и отличаются между собой различным количеством добавок полигексаметиленгуандин гидрохлорид (ПГМГ-ГХ), относящийся к группе флокулянтов катионного

типа: 0,11; 0,135 и 0,162 %. В состав реагентов УНИКО-ОХА/10/5 и УНИКО-ОХА/18/5 входят оксихлориды алюминия (отличаются «основностью») и ПГМГ-ГХ 0,135 %. Активная часть по Al_2O_3 составляет 9,5 %» [1]. В таблице 7 представлены результаты исследования микробиологического анализа.

Таблица 7- «Результаты микробиологического и гидробиологического анализа» [1]

Марка коагулянта		У-СА/4	У-ОХА/10/5	СА	Исходная
Доза коагулянта	мг/дм ³	14	14	14	14
Доза флокулянта REF 2022	мг/дм ³	-	-	0,07	-
Микробиология		ОМЧ – 19 ТКБ – 0 ОКБ – 0 Колифаги – 0	ОМЧ – 27 ТКБ – 0 ОКБ – 0 Колифаги – 0	ОМЧ – 43 ТКБ – 1 ОКБ – 1 Колифаги – 0	ОМЧ – 165 ТКБ – 0 ОКБ – 9 Колифаги – 0
Гидробиология	тыс. кл/мл	267,8	124,57	280,9	497,3

Примечание: анионный флокулянт –флопам FO-905

«Сравнение эффективности реагентов проводили в условиях, приближенных к режиму очистки воды на водопроводной станции. Опыты проводили с различными вариантами обработки воды коагулянтами и флокулянтами, с предварительным хлорированием, подщелачиванием и без них. Результаты некоторых исследований, представленные в таблице 2 и на рисунках 9 – 11 показывают, что мутность отстоянной воды при очистке воды р. Вологда существенно зависит от вида применяемых реагентов и изменяется от 17,57 мг/л (при использовании СА) до 0,1 мг/л (при использовании композиционного коагулянта У-ОХА/5). Аналогичная тенденция изменения мутности отстоянной воды наблюдается и во всех последующих опытах при использовании коагулянтов УНИКО (кроме У-СА/6), т.е. она была в десятки раз меньше, чем в пробах воды с СА. По результатам испытаний установлено, что использование коагулянта УНИКО-СА/5 может не только существенно

улучшить работу первой ступени очистки воды на водопроводной станции, но, и обеспечивает гораздо более высокое качество фильтрата по основным показателям, чем при использовании СА» [2]. Результаты исследований представлены сведены в таблицу 8.

Таблица 8– Результаты исследований коагулянтов

Проба	1	2	3	4	5	6
Вид коагулянта.	СА	У-СА/4	У-СА/5	У-СА/6	У-ОХА/5	У-ОХА/6
Доза, мг/л (по Al ₂ O ₃)	15	15	15	15	15	15
Доза флокулянта, мг/л	(FO-905) 0,15	-	-	-	-	-
Доза хлора, мг/л	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
Условия перемешивания: после ввода коагулянта 180 об/мин – 90с, после ввода флокулянта 180 об/мин – 30 с						
Отстаивание						
Мутность, мг/л. (К101)	17,57	2,72	1,92	12,9	0,71	0,1
Фильтрат						
Мутность, мг/л	0	0	0	0	0	0
Цветность, гад	23	11	9	17	15	11
Остаточный алюминий, мг/л	0,78	0,08	0,07	0,32	0,07	0,07
Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /л	7,3	5,0	4,1	6,6	6,8	5,0
Щелочность, мг-экв/л	1,48	1,44	1,45	1,44	1,99	1,99
pH	7,3	7,42	7,55	7,47	7,61	7,68

Примечание: исходная вода: температура 2 °С, мутность – 17,57 мг/л, цветность – 110 град. перманганатная окисляемость – 16,9 мгО₂/л.

На рисунках 10-12 представлены результаты исследований в графическом формате.

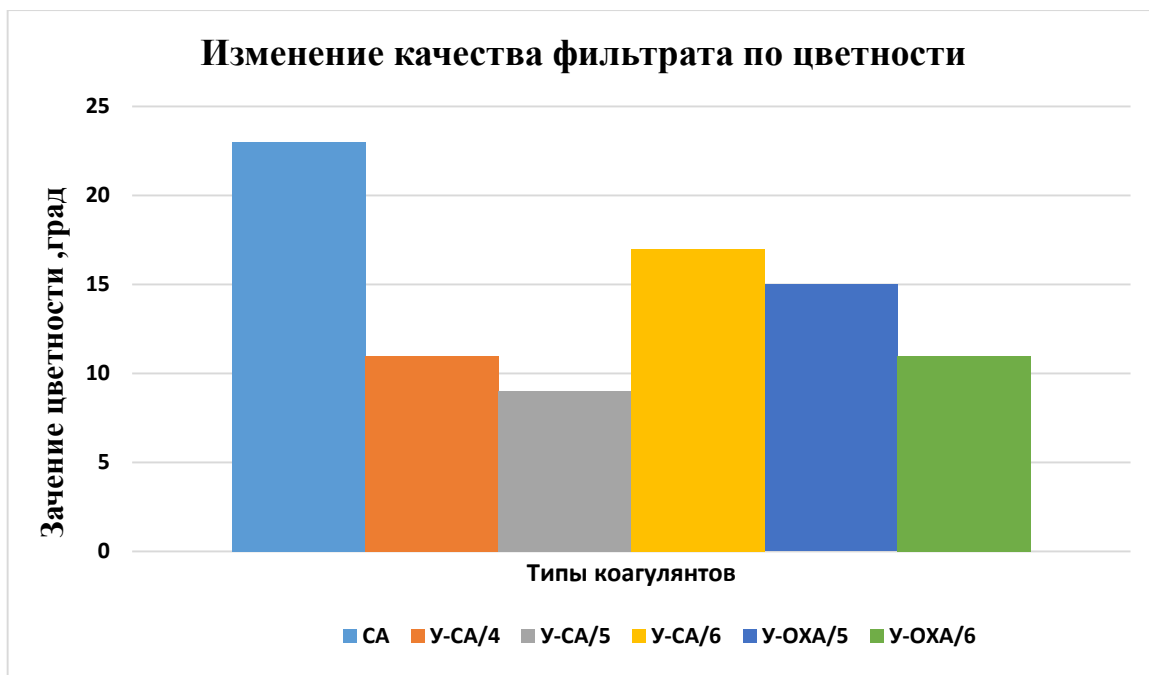


Рисунок 10 – Изменение качества фильтрата по цветности в зависимости от вида коагулянта

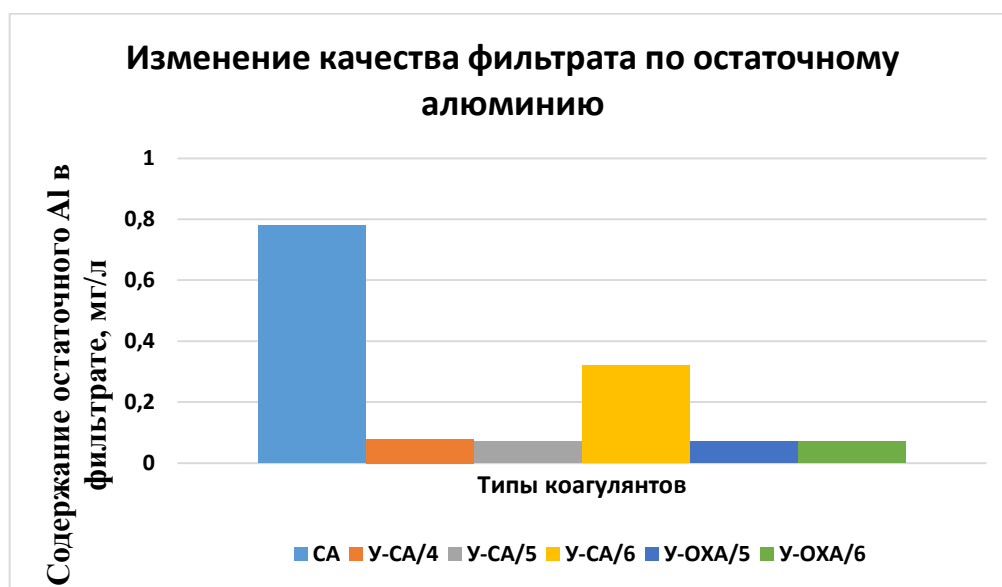


Рисунок 11 – Изменение качества фильтрата по остаточному алюминию в зависимости от вида коагулянта

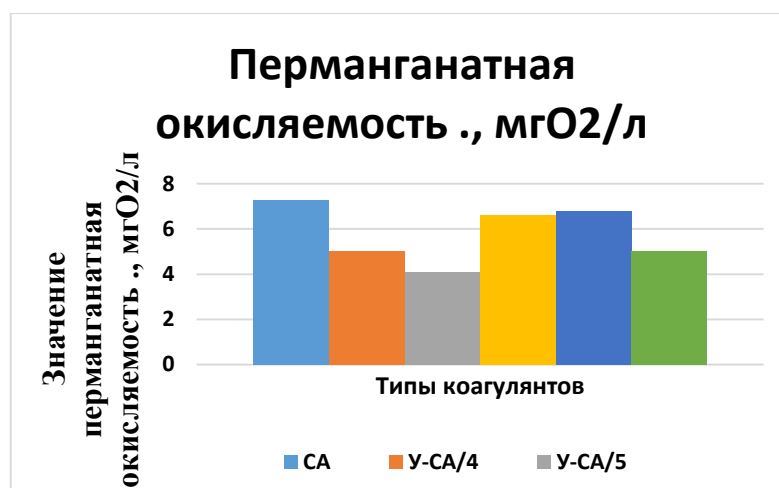


Рисунок 12 – Изменение качества фильтрата по цветности в зависимости от вида коагулянта

Эффективность различных типов коагулянтов УНИКО зависит от качества исходной воды. Наши задачи: снижение мутности, цветности, взвешенных веществ, снижение объема применяемого хлора. С учетом экономической целесообразности выбираем коагулянт У-СА/5.

«Результаты показывают, что на ВОС г. Вологда при использовании коагулянтов серии УНИКО обеспечивается возможность отказа от первичного хлорирования воды перед отстойниками, что позволит, с одной стороны снизить расход хлора, а с другой – значительно уменьшить количество образующихся хлорорганических соединений. Результаты одного из опытов, показывают, что одним из основных преимуществ коагулянтов УНИКО является уменьшение концентрации образующихся токсичных хлорорганических соединений в процессе подготовки питьевой воды. Концентрация хлороформа, основного побочного продукта, в 2 – 3,5 раза была меньше по сравнению с использованием сульфата алюминия с первичным хлорированием» [2]. «Образование токсичных соединений обусловлено взаимодействием хлора с растворенными в воде органическими веществами природного происхождения (гуминовые и фульвиновые кислоты, танины, белковые вещества, хлор- и фосфорсодержащие пестициды, нефтепродукты, продукты метаболизма фито- и зоопланктона, иные органические примеси).

Количество образующихся в воде хлорорганических соединений пропорционально уровню загрязнения источников питьевого водоснабжения органическими веществами и дозам хлора, которые используются при хлорировании воды» [32], [35], [40].

Преимущества исходя из экспериментальных исследований (исследования Алексеевой Л.П.):

- «расход оксихлорида алюминия (в расчёте на Al_2O_3) на коагуляцию в среднем на 20–30 % ниже по сравнению с сульфатом алюминия;
- эффективнее понижает мутность воды;
- эффективнее снижает цветность воды, содержание тяжёлых металлов и органических веществ;
- применение оксихлорида алюминия позволяет снизить содержание остаточного алюминия в очищенной воде, избежать процесса первичного хлорирования воды и применения флокулянтов;
- незначительно снижает рН и щелочной резерв очищаемой воды; – обладает хорошей коагулирующей способностью даже при низких температурах;
- более широкий рабочий диапазон рН;
- продукт обладает большей способностью к полимеризации, что ускоряет хлопьеобразование и осаждение коагулированной взвеси. Обеспечивает более высокую скорость хлопьеобразования и осаждения образовавшихся хлопьев;
- обеспечивается максимально высокая эффективность очистки воды от взвешенных веществ и металлов;
- применение при более низких температурах воды, чем сернокислый алюминий (ниже 4-8°C);
- приводит к снижению коррозионной активности воды (отсутствие избыточных сульфатов);
- при использовании дает низкое остаточное содержание алюминия;

- не слеживается при хранении, имеет длительный срок использования;
- обеспечивает более высокую скорость хлопьеобразования и осаждения образовавшихся хлопьев, что позволяет сократить время процесса» [1].

2.2 Расчет реагентного хозяйства

«Подбор дозы коагулянта при проектировании очистных сооружений или при оптимизации их работы в ряде случаев осуществляют при недостатке результатов лабораторных исследований коагуляции. Поэтому рабочую дозу коагулянта выбирают экстраполяцией экспериментальных данных с учетом опыта работы с водой сходного состава и свойств. Такая экстраполяция неизбежно носит субъективный характер и не обеспечивает выбор оптимальной дозы коагулянта, поэтому желательно иметь некий алгоритм расчета дозы, который позволит оперативно определять требуемую дозу коагулянта и вносить соответствующую корректировку текущей рабочей дозы коагулянта. Особенно это важно при нестабильных показателях качества очищаемой воды, а также для сокращения количества лабораторных опытов пробной коагуляции» [8,30,36,38].

Оптимальная доза коагулянта (для водоподготовки) зависит от большого количества параметров: тип коагулянта, мутность, цветность, перманганатная окисляемость, рН и щелочной резерв воды, ее ионный состав, температура, а также гидродинамические условия коагуляции. Доза коагулянта (сернокислый алюминий), подаваемого в смеситель, составляет как правило 20-30 мг/л (по сульфату алюминия) в зависимости от состояния водоисточника.

«В настоящее время единственной используемой на практике формулой, используемой для определения ориентировочной дозы коагулянта в

технологии очистки природных вод, является уравнение, рекомендуемое СНиП 2.04.02-84» [31] (формула 1):

$$D = 4 \cdot \sqrt{C} \quad (1)$$

где D – доза коагулянта, мг/л;

C – цветность, град.

Согласно проведенным анализам цветность максимальная доза коагулянта составляет 38 градусов.

Подставляем эти данные в формулу (1):

$$D = 4 \cdot \sqrt{38} = 26 \text{ мг/л}$$

«В соответствии с исходной максимальной мутностью по таблице 11 выбирают дозу коагулянта.

Для рассматриваемой технологической схемы очистки сточных вод автомоек (при основном показателе цветности 38 град) предварительная доза коагулянта сульфата алюминия составляет 30 г/м³ [31]. В таблице 9 представлены зависимости дозы коагулянтов от мутности.

Таблица 9 – «Доза коагулянта в зависимости от мутности обрабатываемой воды

Мутность воды, г/м ³	Доза коагулянта, г/м ³	Мутность воды, г/м ³	Доза коагулянта, г/м ³
менее 100	25 – 35	600-800	50 – 60
100 – 200	30 – 40	800 – 1000	60 – 70
200 – 400	35 – 45	1000 – 1500	70 – 80
400 – 600	45 – 50» [31]	-	-

«Принятое по таблице 9 значение дозы коагулянта сравнивают с дозой, полученной по формуле (1). При одновременном содержании в исходной воде

взвешенных веществ и цветности для дальнейших расчетов принимают наибольшую из доз» [31].

Для приготовления и хранения раствора коагулянта предлагается использовать типовую схему для станций очистки.

Расчёт реагентного хозяйства

В стандартизованной схеме расчета определяют следующие параметры.

«Определяем суточный расход коагулянта.

Считаем суточный расход коагулянта (кг/сут) по данной формуле 2:

$$R_k = \frac{D_k \cdot Q_{\text{сут}}}{1000 \cdot S_i} \quad (2)$$

где D_k –предварительная доза коагулянта;

$Q_{\text{сут}}$ - суточная производительность станции водоочистки, м³/сут,
 $Q_{\text{сут}}=Q_{\text{полн}}$;

S_i - процентное содержание безводного продукта в товарном коагулянте, для очищенного сернокислого алюминия = 40,3%, для неочищенного =33,5%» [31].

«Определяем площадь склада, м² (формула 3):

$$S_{\text{склада}} = \frac{R_k \cdot T \cdot \alpha}{G_0 \cdot h} \quad (3)$$

где T - продолжительность хранения коагулянта на складе (15-30 суток);

α - коэффициент, учитывающий дополнительные площади проходов на складе. Принимаем 1,4;

G_0 - объемный вес коагулянта при загрузке склада навалом $G_0= 1,2$ т/м³;

h_k - допустимая высота слоя коагулянта на складе, принимаем 2,5 м» [31].

В зависимости от площади принимают размеры склада в плане.

«Определяем объём растворных баков:

Определение объема растворных баков, м³ по формуле 4:

$$V_{\text{раств}} = \frac{D_{\text{к}} \cdot Q \cdot T}{10000 \cdot b_{\text{р}} \cdot \gamma'} \quad (4)$$

где T - продолжительность хранения коагулянта на складе (15-30 суток);

$b_{\text{р}}$ - концентрация коагулянта в растворном баке, 10-17% для неочищенного коагулянта, 10-20% для очищенного.

γ - объемный вес коагулянта = 1,1 т/м³.

Размеры баков назначают конструктивно исходя из объёма и условий компоновки. Рекомендуется высоту слоя коагулянта принимать в пределах 1 – 2 м. При применении кускового коагулянта в баках устанавливают колосниковые решётки с прозорами 10 – 15 мм. Если используется порошкообразный реагент, то на решётку укладывается сетка с отверстиями 1 – 2 мм. Стенки растворного бака ниже колосниковой решётки выполняют наклонными под углом 45 – 50° к горизонту. Объём подколосниковой части не входит в объём $W_{\text{раств}}$ [31].

Определяем объем расходных баков, м³ (формула 5):

$$V_{\text{расх}} = \frac{V_{\text{раств}} \cdot b_{\text{р}}}{b} \quad (5)$$

где b - концентрация коагулянта в расходном баке, $b = 4-12\%$.

Размеры бака назначают исходя из проведенных ориентировочных конструктивных расчетов. Для упрощения обслуживания (выгрузки готового раствора) дно бака должно иметь уклон не менее 0,010 [29],[33]. Строительная высота растворных и расходных баков принимается на 0,3 – 0,5 м более высоты раствора коагулянта.

Рассчитаем реагентное хозяйство для приготовления, хранения и дозирования коагулянта сернокислого алюминия.

$$Q_{\text{сут}} = 30000-36000 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

$$D_k = 30 \text{ г/м}^3$$

Определяем суточный расход коагулянта по формуле 2:

$$Rk = \frac{30 \cdot 36000}{1000 \cdot 33,5} = 32,24 \text{ кг/сут}$$

Определяем необходимую для складирования коагулянта площадь склада, м^2 по формуле 3:

$$S_{\text{склада}} = \frac{32,24 \cdot 30 \cdot 1,4}{1200 \cdot 2,5} = 0,45 \text{ м}^2$$

Определяем объем растворных баков для коагулянта по формуле 4:

$$V_{\text{раст}} = \frac{(30 \cdot 36000 \cdot 15)}{(100000 \cdot 18 \cdot 1,1)} = 8,2 \text{ м}^3$$

принимая, что:

- $Q=36000 \text{ м}^3 / \text{сут}$;
- время, на которое заготавливают коагулянт, так как производительность станции $36000 \text{ м}^3 / \text{сут}$, принимаем $T = 15$ суток;
- концентрация коагулянта в растворном баке, $b_p = 18 \%$;
- γ - объемный вес коагулянта = $1,1 \text{ т/м}^3$.

Определяем объем расходных баков по формуле 5, м^3 :

$$V_{\text{расх}} = (8,2 \cdot 18) / 10 = 14,7 \text{ м}^3$$

Принимая для расчета $b = 10 \%$.

«Количество расходных баков должно быть не менее двух. Для создания условий опорожнения бака предусмотрим уклон не менее 0,01 и трубопровод (не менее 100 мм). Строительная высота растворных и расходных баков принимается на 0,3 – 0,5 м более высоты раствора коагулянта» [41]. Если мы приняли в расчете высоту коагулянта 2,5м, то высота расходного бака 2,8-3 м.

Во избежание коррозии материала внутреннюю поверхность облицевать кислотостойкими материалами. При использовании коагулянта оксихлорида алюминия целесообразно сокращение объема бака на 25%.

Соответственно $W_{\text{расх}} = 11 \text{ м}^2$.

2.3 Оптимизация дозирования реагентов

Дозирование раствора коагулянта предусматривается дозатором. Способ введения коагулянта включает подачу коагулянта в очищаемую воду, находящуюся в трубопроводе, активирование коагулянта путем перемешивания его в воде [15]. Существующие методы интенсификации Е.Д. Бабенков подразделяет на два класса [12]. В таблице 10 сведены основные направления интенсификации коагулирования как процесса.

Таблица 10 – Методы интенсификации процесса коагулирования

Первый класс (добавление в воду реагентов)	Второй класс (без использования дополнительных реагентов)
Флокулянты	«Создание условий для улучшения перемешивания коагулянта» [10]
Окислители	«Использование рациональных способов добавления коагулянтов к воде» [11]
Регуляторы величины рН	«Рециркуляция коагулированной взвеси через зону ввода новых порций коагулянта» [11]
Минеральные замутнители	«Совмещение коагуляции гидролизующимися коагулянтами с физическими методами коагуляции» [11]

С целью использования рациональных способов добавления коагулянтов к воде в работе предлагается осуществлять подачу реагентов через сопло Вентури (патент РФ № 170906).

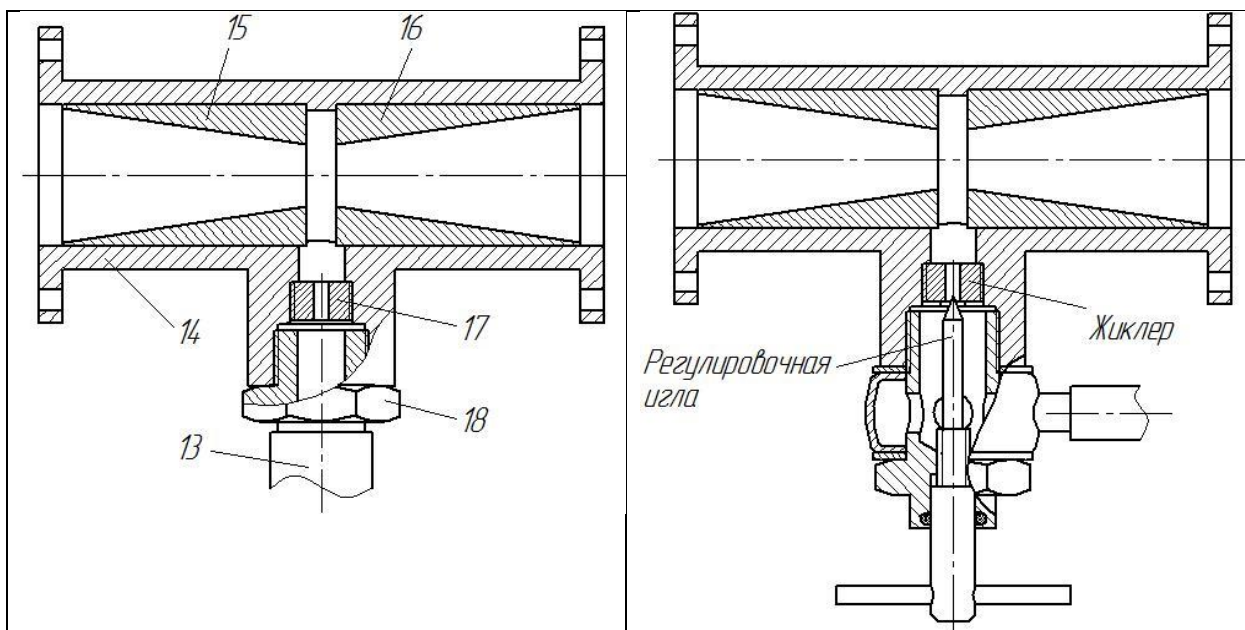
Классический вариант подачи реагентов – использование насосов-дозаторов. Однако существенными недостатками подобных узлов являются их сложная конструкция, высокая стоимость, циклическая подача коагулянтов.

Известно устройство по патенту РФ №2165308, в котором реагент подается в поток очищаемой жидкости непрерывно через инжектор. Однако такое устройство не может быть использовано в системах очистки жидкости, где сопротивление потоку воды может быть переменным по мере их загрязнения.

Нами предлагается к внедрению решение, предлагаемое Малкиным В.С. (Пат. № 170906 Российская Федерация, МПК В04С 5/00 Устройство для очистки воды от загрязнений).

«Задача, на решение которой направлено данное техническое решение, заключается в создании возможности исключения из конструкции системы очистки воды дозирующих насосов или перистальтических насосов для подачи реагентов, при этом обеспечивая возможность непрерывной подачи необходимого количества реагента, вне зависимости от противодействия в прокачиваемом потоке очищаемой жидкости.

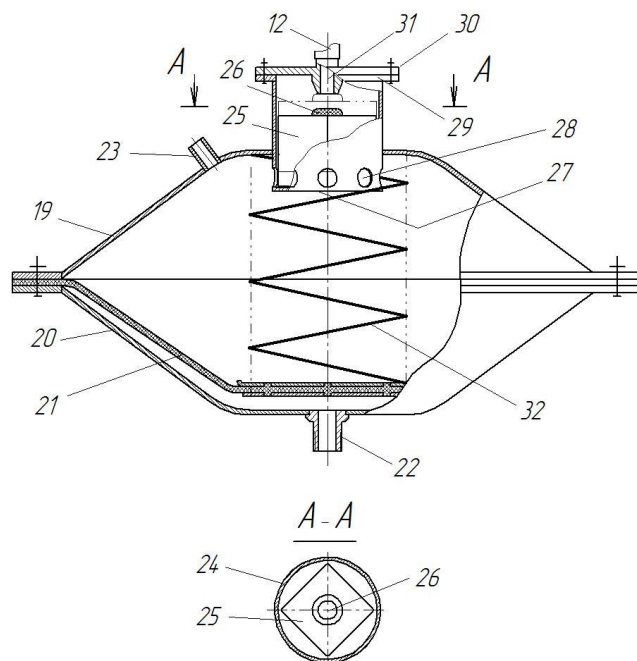
Инжектор для подачи реагента (рисунок 13) включает корпус 14 с фланцами для крепления, зеркально установленные в корпус до упора в буртик втулки 15 и 16 с коническими отверстиями, одна из которых является конфузуром, а другая диффузором. В резьбовое отверстие корпуса в зоне расположения торцов втулок 15 и 16 ввинчен жиклер 17 и далее ввинчен патрубок 18, соединяемый с трубкой 13. Жиклер может быть выполнен регулируемым, как это показано на рисунке 15.



«14-корпус,15-втулка,16-втулка,17- жиклер,18-патрубок

Рисунок 13 – Инжектор для подачи реагента в воду» [24]

Диафрагменная камера 9 (рисунок 14) включает верхнюю крышку 19, нижнюю крышку 20, и находящуюся между ними эластичную диафрагму 21. Эти элементы герметично соединены между собой. В нижней части крышки 20 расположен патрубок 22, который используется для подсоединения с трубкой 8. В верхней части крышки 19 установлен патрубок 23, который используется для подсоединения трубки 13» [24].



«19 –верхняя крышка, 20 - нижняя крышка, 21 –диафрагма,23-патрубок, 24-цилиндр,25-поплавок,26- клапан, 27- пластина, 28-отверстия,29-фланец. 30-крышка, 31- центральное отверстие, 32-пружина» [24]

Рисунок 14 – Диафрагменная камера

«По оси камеры через верхнюю крышку пропущен и герметично соединен с нею цилиндр 24, внутри которого размещен поплавок 25 с закрепленным на нём клапаном 26, выполненным из резины или другого подобного материала» [24].

«К нижней части цилиндра 24 прикреплена пластина 27, которая ограничивает крайнее верхнее положение диафрагмы и нижнее положение поплавка. В стенках цилиндра, входящих в полость камеры выполнены отверстия 28, обеспечивающие переливание реагента из цилиндра в верхнюю полость камеры.

Верхняя часть цилиндра оканчивается фланцем 29, герметично соединяемого с крышкой 30, имеющей по центру отверстие 31, которое снизу выполнено как седло клапана 26. С наружной стороны крышки отверстие выполнено как парубок для соединения с трубкой 12.

Внутри верхней полости камеры установлена пружина 32, которая опирается на стенку крышки 19 и центральную часть диафрагмы 21, своим

давлением опуская её вниз до упора в стенку нижней крышки 20 в том случае, когда под диафрагмой нет давления воды.

Устройство используется следующим образом. В емкость 11 подают реагент, открывают кран 10, что позволяет перетекать реагенту в верхнюю полость диафрагменной камеры 9. При повышении уровня реагента в камере поплавков 25 всплывает и прикрепленный к нему клапан 26, упираясь в седло клапана, перекрывает отверстие 31 крышки 30. В таком положении доступ реагента в камеру прекращается и устройство готово к работе.

При включении перекачивающего загрязненную воду насоса вода по трубе 7 подается в инжектор 6 и далее через патрубок в осветлитель. В то же время вода по трубке 8 подается в нижнюю полость камеры 9 под диафрагму 21, через которую давление воды передается на реагент, находящийся над диафрагмой. Вследствие увеличения скорости потока воды в зоне стыка конфузора и диффузора инжектора возрастает кинетическая энергия потока и уменьшается статическое давление воды. За счет возникшего динамического разряжения реагент из камеры 9 по трубке 13 начинает перетекать через жиклер 17 в поток загрязненной воды» [24].

При наличии в конструкции инжектора конфузора и диффузора обеспечивается высокое динамическое разряжение, позволяющее активно всасывать реагент в поток воды и регулировать концентрацию реагента путем подбора диаметра жиклера. Независимость разряжения от статического давления воды в трубопроводах обеспечивается за счет того, что находящийся над эластичной диафрагмой камеры реагент подпирается давлением воды, поступающей в нижнюю часть камеры из трубы, по которой насос перекачивает очищаемую воду.

2.4 Математическое обоснование работы инжекторного дозатора коагулянта

«Принцип работы инжектора основан на том, что кинетическая энергия увеличивается в потоке жидкости на участке, где скорость движения возрастает, что приводит к снижению потенциальной энергии (давления). Соединенные между собой конфуззор и диффузор представляют собой трубку Вентури» [24,40]. На рисунке 15 представлен принципиальный внешний вид трубки Вентури.

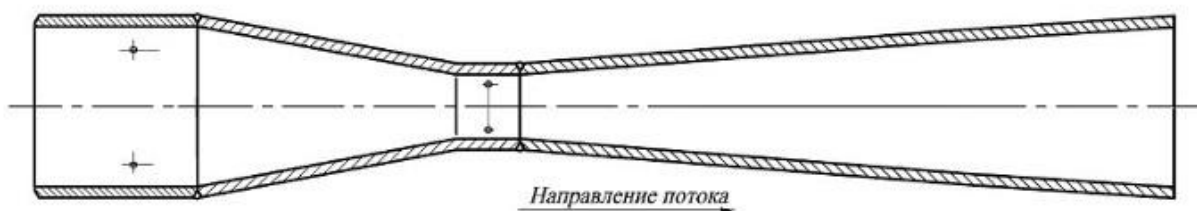


Рисунок 15 – Трубка Вентури

«Трубка Вентури может быть использована в качестве расходомера, т.е. датчика расхода жидкости, который выражается измеряемой разностью давления в подводящей трубе и горловине в месте соединения конфузора и диффузора» [24].

Аналитически объемный расход жидкости выражается формулой 6:

$$Q = \frac{m \cdot F_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{F_2}{F_1}\right)^2}} \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1 - P_2)}{\rho}} \quad (6)$$

где Q – расход жидкости;

m - коэффициент, отражающий потери внутри расходомера;

F_1 и F_2 - площади сечений входного отверстия конфузора и его меньшего отверстия (площадь горловины трубки Вентури), соответственно;

P_1 и P_2 - давление жидкости в сечении входного отверстия трубки Вентури и её горловины, соответственно;

ρ - плотность жидкости.

В предлагаемом устройстве коагулянт подается в очищаемую воду через жиклер, соединенный с горловиной инжектора.

Объемный расход коагулянта через жиклер выражается формулой 7:

$$Q_k = \mu \cdot F_0 \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1 - P_2)}{\rho k}} \quad (7)$$

где Q_k – расход коагулянта;

F_0 - площадь проходного сечения жиклера;

μ - коэффициент расхода, главным образом зависящий от вязкости жидкости и формы отверстия жиклера;

ρk - плотность коагулянта.

Концентрацию объемного расхода коагулянта γ_k в очищаемой воде можно найти путем отношения расхода коагулянта к расходу воды через инжектор. Плотность водного раствора коагулянта при малой концентрации входящих в раствор химикатов незначительно отличается от плотности очищаемой воды. Используя приведенные формулы получим выражение 8:

$$\gamma_k = \frac{Q \cdot k}{Q} = \frac{\mu \cdot F_0}{m \cdot F_2} \sqrt{1 - \left(\frac{F_2}{F_1}\right)^2} 100\% \quad (8)$$

Из полученной формулы следует, что концентрация объемного расхода коагулянта в основном определяется диаметрами входной трубы эжектора и

его горловины, а также размером проходного сечения жиклера. Влияние всех остальных факторов на коэффициент расхода жиклера и коэффициент потерь внутри эжектора, скорее всего, идентично, т.е. их отношение можно считать постоянным.

Таким образом, предлагаемое устройство дозатора коагулянта обеспечивает поддержание его стабильной концентрации в очищаемой воде при возможных изменениях противодействия и скоростей потока очищаемой воды. Общепринятое использование плунжерных, диафрагменных и перистальтических дозаторов при изменении характеристик потока очищаемой воды требует оперативная регулировка производительности дозаторов. Это можно считать их основным недостатком.

2.5 Анализ состава коагулированного осадка. Расчет объема

«Образующийся при этом коагуляции гидроксидный осадок, представляющий собой высоковлажную массу органоминеральных веществ различной дисперсности, объединенных с помощью гидроксидных связей в единую пространственную структуру, обладающую коллоидными свойствами, является основным видом отходов водопроводных станций.

Масштабы образования таких отходов, отличающихся высокой влажностью (до 99,9%) и очень низкой способностью к уплотнению (обезвоживанию), достаточно велики» [44]. «Водопроводный осадок (ВПО), как правило, менее опасен для окружающей среды и человека, чем, например, осадок городских сточных вод (ОСВ). В то же время водопроводный осадок (особенно образующийся при очистке высокоцветных маломутных вод) имеет (по сравнению с ОСВ) более высокие значения показателя удельного сопротивления фильтрации и требует больших затрат на сгущение и обезвоживание. Размещение ВПО в прудах-накопителях или на площадках обезвоживания приводит к отчуждению значительных по площади земельных территорий, на длительное время выводимых из хозяйственного

использования, что особенно актуально для крупных городов. Кроме того, в исходном виде гидроксидный осадок нередко представляет определенную опасность для окружающей среды и человека, поскольку содержащиеся в нем вещества при определенных условиях могут включаться в геохимические и биогеохимические циклы. Например, в США в соответствии с действующими нормативными документами отходы станций подготовки питьевой воды рассматриваются как токсичные. Проблема безопасного размещения и экологически оправданной утилизации ВПО чрезвычайно актуальна для России, где основными источниками централизованного водоснабжения являются поверхностные воды, доля которых в общем объеме водозабора составляет 68%» [44].

К этому следует добавить, что качество вод поверхностных водных объектов России в большинстве случаев не отвечает нормативным требованиям и оценивается как неудовлетворительное почти для всех видов водопользования. «Это определяет концентрирование в ВПО повышенных количеств различных поллютантов, а также обуславливает увеличение масштабов применения коагулянтов и других реагентов в централизованной водоподготовке и темпов образования на станциях очистки осадка» [45].

Важной частью водоподготовки является осветление воды, т. е. ее очистка от крупнодисперсных и коллоидных минеральных частиц, и органических примесей, обуславливающих цветность воды.

Резкие колебания мутности речных вод, свойственные многим регионам, обуславливают неравномерность образования осадка в отстойных сооружениях, а, следовательно, неритмичность его удаления и обработки. Повышенное количество взвешенных частиц (особенно грубодисперсных) в исходных поверхностных водах наблюдается в период весеннего половодья и после выпадения дождей [39].

«Использование оксихлорида алюминия позволяет повысить по сравнению с сернокислым алюминием барьерную роль водоочистных сооружений в отношении взвешенных веществ на 30% и уменьшить

количество образующегося осадка при надежном обеспечении нормативного качества питьевой воды.

Масса и объем осадка на водоочистных сооружениях при применении полиоксихлорида алюминия меньше, чем при использовании сульфата алюминия, так как дозы по Al_2O_3 в 2-4 раза выше у сульфата алюминия» [1-3].

Определение количества осадков, образующихся на очистной станции после коагуляции

«Количество и состав образующегося ВПО зависят от качества исходной (обрабатываемой) воды, в существенной мере определяемого сезонными вариациями мутности (содержания органических и неорганических взвешенных веществ) поверхностных вод, вида, дозы и качества применяемых коагулянтов и других реагентов, технологической схемы обработки и конструктивных особенностей сооружений, в которых осаждается осадок, и изменяется обычно от 0,1 до 1%, а в отдельных случаях достигает 5% объема очищаемой воды.

Повышенная мутность поверхностных вод обычно благоприятно сказывается на седиментационных (предел уплотнения по влажности $97\pm 0,5\%$) и водоотдающих свойствах осадка. Резкие колебания мутности речных вод, свойственные многим регионам, обуславливают неравномерность образования осадка в отстойных сооружениях, а, следовательно, неритмичность его удаления и обработки. Повышенное количество взвешенных частиц (особенно грубодисперсных) в исходных поверхностных водах наблюдается в период весеннего половодья и после выпадения дождей» [45].

Согласно [44], основным компонентом осадка после коагуляции является гидроксид алюминия, который образуется в процессе гидролиза коагулянта до Al_2O_3 (25-45%).

В разделе 2.2 мы рассчитали по стандартизованной методике дозу коагулянта, согласно СНиП, существует квадратичная зависимость цветности и дозы. Из этого можно сделать вывод, что количество образующегося шлама

от прошедшей в смесителе коагуляции, зависит от цветности линейно с коэффициентом 0,25.

Расчет проводим по методике, представленной в [22].

На очистных станциях водоподготовки основным видом осадка, при обработке которого возникают трудности, является гидроксидный осадок, который образуется при реагентной очистке воды.

Объем осадка, образующегося в отстойниках, может быть определен по формуле 9:

$$x = \frac{(C_{ВХ} - C_{ВЫХ}) \cdot Q_{ПОЛН}}{C_{ОС}} \quad (9)$$

где $C_{ОС}$ – концентрация осадка в отстойниках станций водоподготовки, $г/м^3$; может быть определена согласно [14, табл. 17] (Приложение 16);

$C_{ВЫХ}$ – концентрация взвешенных веществ на выходе из отстойника ($8-12 г/м^3$);

$C_{ВХ}$ – концентрация взвешенных веществ на входе в отстойник, $г/м^3$, определяется по [14, ф-ла (Д.3)].

Находим концентрация взвешенных веществ на входе в отстойник по формуле 10:

$$C_{ВХ} = C_{ИСХ} + k \cdot Dk + 0.25 \cdot Ц \quad г/м^3 \quad (10)$$

где K – коэффициент, принимаемый для очищенного сульфата алюминия – 0,5, для хлорного железа – 0,7;

$Ц$ - цветность очищаемой воды.

Рассчитаем концентрацию взвешенных веществ на входе с учетом вводимого коагулянта:

$$C_{вх} = 970 + 0,5 \cdot 30 + 0,25 \cdot 38 = 994,5 \text{ мг/л}$$

$$Q = 36000 \text{ м}^3 / \text{сут} = 1500 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Подставляем исходные данные в формулу 1:

$$x = \frac{(994,5 - 0,75) \cdot 1500 \cdot 10^3}{0,8} = 1863,24 \text{ кг/ч}$$

«Масса и объем осадка на водоочистных сооружениях при применении полиоксихлорида алюминия меньше 3-3,5 раза, чем при использовании сульфата алюминия, так как дозы по Al_2O_3 в 2-4 раза выше у сульфата алюминия» [3]. Соответственно можно предполагать, что объем осадка снизится минимум в 2 раза и составит 931,62 кг/ч, при создании оптимальных условий коагулирования объем осадка может быть снижен до 465,81 кг/ч.

Радикальное решение проблемы образования токсичного осадка после коагуляции требует осуществления ряда мероприятий по сокращению объемов его образования – использование современных коагулянтов нового поколения.

Для уплотнения и механического обезвоживания осадка всегда требуется обработка его флокулянтами. Тип и дозу флокулянта для каждого типа осадка определяют экспериментально.

Выводы по второй главе:

– для снижения мутности и цветности воды, с учетом минимальных финансовых затрат предложение коагулирование с использованием современного коагулянта УНИКО-СА/5. Уменьшение мутности отстоянной воды оказывает положительное влияние на весь последующий технологический процесс: снижается нагрузка на фильтровальные сооружения, за счет чего повышается качество фильтрата, увеличивается продолжительность фильтроцикла, уменьшается количество промывных вод и т.п;

– применение оксихлорида алюминия позволит снизить содержание остаточного алюминия в очищенной воде, снизить (избежать) процесса первичного хлорирования воды и применения флокулянтов. В этом случае хлорирование целесообразно осуществлять перед фильтрами, что позволит, с одной стороны, снизить расход хлорсодержащего реагента, а с другой – значительно уменьшить количество образующихся хлорорганических соединений, так как в процессе осветления воды в отстойниках, либо в осветлителях, из воды удаляется основная масса загрязнений, в том числе органических веществ, обуславливающих при хлорировании образование хлороформа;

– рассчитано реагентное хозяйство, объем коагулированного осадка;

– предложена оптимизация по подаче реагента с помощью сопла Вентури, дано математическое обоснование предлагаемого решения. При наличии в конструкции инжектора конфузора и диффузора обеспечивается высокое динамическое разряжение, позволяющее активно всасывать реагент в поток воды и регулировать концентрацию реагента путем подбора диаметра жиклера. Независимость разряжения от статического давления воды в трубопроводах обеспечивается за счет того, что находящийся над эластичной диафрагмой камеры реагент подпирается давлением воды, поступающей в нижнюю часть камеры из трубы, по которой насос перекачивает очищаемую воду.

Заключение

В работе проведен анализ технологической схемы водоподготовки ООО«СамРэкЭксплуатация». На основе проведенных лабораторных исследований определены приоритетные загрязнители: цветность, мутность, взвешенный вещества.

Предложено использование оксихлорида алюминия как коагулянта для обеспечения требований СанПиН 2.1.4.559-96 к качеству питьевой воды, в части требований к количеству взвешенных веществ, цветности воды и концентрации общих органических загрязнений.

Предложено внедрение процесса коагуляции с использованием современного коагулянта УНИКО-СА/5, что позволит отказаться от первичного обеззараживания воды хлором и сократит стоимость очистки воды от сине-зеленых водорослей во время цветения водоёмов.

Эффективность снижения цветности цветущей воды в процессе её коагуляции с использованием коагулянта составляет 92% при дозе коагулянта 20 – 24 мг/л.

Применение оксихлорида алюминия позволит снизить содержание остаточного алюминия в очищенной воде, снизить (избежать) процесса первичного хлорирования воды и применения флокулянтов.

Рассчитано реагентное хозяйство, объем коагулированного осадка. Показан эффект от применения современного коагулянта УНИКО-СА/5.

Предложена оптимизация по подаче реагента (коагулятора) с помощью сопла Вентури, данное решение обеспечивает поддержание стабильной концентрации реагента в очищаемой воде при возможных изменениях противодавления и скоростей потока очищаемой воды. Представлено математическое обоснование предлагаемого решения.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Алексеева Л. П. Оценка эффективности применения оксихлорида алюминия по сравнению с другими коагулянтами // Водоснабжение и сан. техника. – 2019, – № 2. – с. 11–14.
2. Алексеева Л.П. Оценка эффективности композиционных коагулянтов «Унико» при очистке воды различных водоисточников/ Техновод,2021- с. 16-28.
3. Алексеева Л.П. Интенсификация проведения процесса коагуляционной очистки воды//Главный критерий. -2019, №3-с. 54-62.
4. Богданович Н. И. Процессы и аппараты очистки сточных вод: учебное пособие / Н. И. Богданович. — Архангельск: САФУ, 2018. — 115 с. — ISBN 978-5-261-01282-5. — Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/161825> (дата обращения: 31.05.2023).
5. Василенко Л. В., Никифоров, А. Ф, Лобухина, Т. В. Методы очистки промышленных сточных вод. / Л. В. Василенко, А. Ф. Никифоров, Т. В. Лобухина. – Екатеринбург, 2019. С.189.
6. Волков В.З., Столярова Е.А., Никольская Е.А. Новые коагулянты в практике московского водопровода // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 2. С. 2–6.
7. Герасимов Г. Н. Процессы коагуляции-флокуляции при обработке поверхностных вод. // Водоснабжение и сан. техника. – 2021. – № 3. – С. 26–31.
8. Гетманцев С. В. Состояние производства и импорта алюмосодержащих коагулянтов в России// Водоснабжение и сан. техника. – 2022. – № 2. – С. 5–10.
9. Гетманцев С. В., Гетманцев В. С. Комбинированная технология производства высокоэффективных коагулянтов. // Водоснабжение и сан. техника. – 2021. – № 3. – С. 8–10.

10. Гетманцев С. В., Гандурина Л. В., Сычев А. В. Сравнение эффективности алюмосодержащих коагулянтов при очистке мутных речных вод // Водоснабжение и сан. техника. 2012. № 4. С. 44–46.
11. Гусев Е.Е. Одорирующие вещества биологического происхождения в природных водах и способы их удаления при водоподготовке. Автореферат. М., 2007. 23 с.
12. Здоровцев П.А. Имитационное моделирование процесса медленной пространственно неоднородной коагуляции / Здоровцев П.А. // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. — 2013. — № 3. — С. 92-95. — ISSN 2226-910X.— Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/289599> (дата обращения: 30.04.2023).
13. Евсютин А.В., диссертация Исследование и совершенствование технологии предварительной очистки воды с использованием оксихлоридов алюминия, 2009, с.120.
14. Елубай М. А., Сулейменов М. А., Кикучева А. Ж., Толегенов Д. Т., Толеенова Д. Ж., Нурмаханбетова Д. Е. Исследование состава солей тяжелых металлов в питьевой воде // Наука и техника Казахстана. – 2019. – № 2. – С. 114–125.
15. Качалова Г. С. Коагуляционно сорбционная очистка сточных вод // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 2 (78) с.32-39.
16. Качалова, Г. С., Пешева А. В., Зосуль, О. И. и Настенко, А. О. (2015). Выбор современных реагентов, определение их доз для снижения мутности промывных вод скорых фильтров с целью их оборотного использования. В: 17-я Международная научно-практическая конференция «Водные ресурсы и ландшафтно-усадебная урбанизация территорий России в XXI веке», Тюмень: ТюмГАСУ, т. 1, сс. 87–93
17. Корчевская Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод : учебное пособие / Ю. В. Корчевская, А. А. Кадысева, А. А. Маджугина. — Омск : Омский ГАУ, [б. г.]. — Часть 2 : Очистка бытовых сточных вод — 2018. —

136 с. — ISBN 978-5-89764-613-5. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/102201> (дата обращения: 02.05.2023).

18. Косенко И.И. Исследование устойчивости процессов коагуляции в задачах водоподготовки / И.И. Косенко, Г.Н. Лукашева, Ю.И. Маршева // Сервис в России и за рубежом. — 2021. — № 1. — С. 103-109. — ISSN 1995-042X.— Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/294347> (дата обращения: 20.05.2023).

19. Мокиенко А.В., Петренко Н.Ф., А.И. Гоженко А.И. Обеззараживание воды. Гигиенические и медико-экологические аспекты. Том 1. Хлор и его соединения. -Одесса: ТЭС, 2021- 484 с.

20. Методические указания по проведению практических занятий и выполнению курсового проекта (работы) по дисциплине «Технология переработки и утилизации осадков» (для студентов 5-6 курсов дневной и заочной форм обучения специальностей 7.06010108 «Водоснабжение и водоотведение» та 7.06010302 «Рациональное использование и охрана водных ресурсов») / Харьк. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова; сост.: Е. Б. Сорокина. – Х. : ХНУГХ, 2014. – 64 с.

21. СанПин 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарноэпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России. 2002. 103 с

22. Селезнева А.В. От мониторинга к нормированию антропогенной нагрузки на водные объекты. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН. 2007. – 105 с.

23. Сыркина И. Г. Производство основного хлорида алюминия. – М., 1988. – 57 с. – (Химическая промышленность: Обзор, инф. / НИИТЕХИМ).

24. Пат. № 170906 Российская Федерация, МПК В04С 5/00 Устройство для очистки воды от загрязнений / Малкин В.С.: Малкин Владимир Сергеевич - № 2019110662 /05; заявл. 21.11.2016; опубл. 15.05.2017, Бюл. № 25 – с 5.

25. Патент № 53-100194 Япония, МПК С 01 F 7/56. Приготовление основного хлорида алюминия для обработки воды / Сасаки Хиромиш, Иакамура Маса – Ми. – Оpubл. 01.09.78. РЖ Химия. – 1979, – 14 И 365 П.
26. Патент № 61-14125 Япония, МПК С01 F 7/56. Получение основного хлорида алюминия / Уно Йосио. – Оpubл.22.01.86 РЖ Химия, 1988. – ЗЛ 109П.
27. Патент № 2268750 ФРГ, МПК С 01 F 7/56. Verfahren zur Herstellung von basi-scher Aluminum verbinden / Viohl Uwe/ – Оpubл. 06.06.74.
28. Патент № 57-38316 Япония, МПК С01 F 7/56. Коагулянт для обработки воды // Осака – Оpubл. 14.08.82.
29. Рехтин А. Ф. Проектирование сооружений для очистки сточных вод: учебное пособие / А. Ф. Рехтин, Е. Ю. Курочкин, Б. П. Лашкивский. — Томск : ТГАСУ, 2022. — 314 с. — ISBN 978-5-93057-623-8. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/138996> (дата обращения: 11.05.2023).
30. Сколубович Ю.Л. , Войтов Е.Л. , Сколубович А.Ю. Окислительные и коагуляционные методы очистки воды для питьевого водоснабжения // ВЕСТНИК ИрГТУ №6 (46) 2020, с.121-125.
31. СНиП 2.04.02-84
32. Технологии очистки сточных вод: учебное пособие / Д. С. Дворецкий, Е. В. Хабарова, О. В. Зюзина [и др.]. — Тамбов: ТГТУ, 2018. — 84 с. — ISBN 978-5-8265-1948-6.— Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/319565> (дата обращения: 11.05.2023).
33. Технология очистки сточных вод: учебное пособие / А. Б. Ярошевский, С. М. Романова, А. М. Мадякина, И. Г. Шайхиев. — Казань: КНИТУ, 2016. — 84 с. — ISBN 978-5-7882-1892-2.— Текст: электронный// Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/102107> (дата обращения: 12.05.2023).

34. Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2014»: материалы VIII Межд. науч.-практическая конференция; Красная Поляна, г. Сочи, 23 – 24 октября 2014 г. / Южно-Российский государственный Политехнический университет. (НПИ). – Новочеркасск: «Лик», 2014.– 285 с.
35. Технологический регламент ООО «СамРЭКЭксплуатация».
36. Токарева А.В. Масакбаева С.Р. Оксихлорид алюминия – коагулянт для подготовки воды питьевого водоснабжения // Наука и техника Казахстана, 2020 г., с. 58-68.
37. Ушакова И. Г. Технологии улучшения качества природных вод: учебное пособие / И. Г. Ушакова, Г. А. Горелкина, Ю. В. Корчевская. — Омск: Омский ГАУ, 2017. — 89 с. — ISBN 978-5-89764-656-2.— Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/119212> (дата обращения: 14.05.2023).
38. Филиппов Д. В. Физико-химические свойства, устойчивость и коагуляция лиофобных дисперсных систем: учебное пособие / Д. В. Филиппов, М. В. Улитин, М. В. Лукин. — Иваново: ИГХТУ, 2007. — 108 с.— Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/4494> (дата обращения: 20.05.2023).
39. Хисамеева Л.Р., Селюгин А.С., Абитов Р.Н., Бусарев А.В., Урмитова Н.С. О-23 Обработка осадков городских сточных вод: учебное пособие / Л.Р. Хисамеева, А.С. Селюгин, Р.Н. Абитов, А.В. Бусарев, Н.С. Урмитова. – Казань: Издательство Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2016. – 105 с.
40. Хорунжий В. В. Коагуляция. Электрокинетические явления: учебно-методическое пособие / В. В. Хорунжий. — Санкт-Петербург: СПбГПМУ, 2018. — 28 с. — ISBN 978-5-907065-39-0. — Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/174384> (дата обращения: 31.04.2023).

41. Храменков С.В., Коверга А.В., Благова О.Е. Использование современных коагулянтов и флокулянтов в системе московского водопровода // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. № 3. с. 4–6.
42. Хиршиева И.В. Интенсификация процесса коагуляции при очистке маломутных цветных вод// диссертация,2014 с.288.
43. Шлёкова И. Ю. Очистка сточных вод: практикум: учебное пособие / И. Ю. Шлёкова, А. И. Кныш. — Омск: Омский ГАУ, 2020. — 86 с. — ISBN 978-5-89764-916-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153576> (дата обращения: 15.05.2023).
44. Шлёкова И. Ю. Сточные воды: состав, свойства, методы и схемы очистки: учебное пособие / И. Ю. Шлёкова, А. И. Кныш. — Омск: Омский ГАУ, 2020. — 93 с. — ISBN 978-5-89764-858-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/136160> (дата обращения: 31.05.2023).
45. Янин Е.П. Осадок водопроводных станций (состав, обработка, утилизация) // Экологическая экспертиза, 2010, № 5, с. 3–45.
46. Chorus I. et al. Toxic Cyanobacteria in Water: a Guide to Public Health Significance, Monitoring and Management / I. Chorus, J. Bartram // World Health Organization. London: Fur WHO durch E@ FN Spon / Chapman@ Hall, 1999. 416 p. 15.
47. Ruitta Niemela, Anna-Mari Auniola, Helena Jansson, Yevgeny Ponomarenko, Felix Stolberg and Rikard Thurdin. De-eutrophication of northern rivers and lakes - experiences from ProAQUA – project. Large.
48. Rivers No.3–4, Arch. Hydrobiol. 435 P. December, 2002.Lin, J., Couperthwaite, S. J. and Millar, G. J. (2017). Effectiveness of aluminium based coagulants for pre-treatment of coal seam water. Separation and Purification Technology, vol. 177, pp. 207–222.

49. Cyanobacterial toxins: Microcystin-LR in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization, 2003. P. 1–10.
50. Fawell J.K. et al. Blue-green algae and their toxins – analysis, toxicity, treatment and environmental control // *Water supply*. 1993. Vol. 11. P. 109–121.
51. Jüttner F. et al. Minireview: Biochemical and Ecological Control of Geosmin and 2-Methylisoborneol in Source Waters / F. Jüttner, S.B. Watson // *Appl. Environ. Microbiol.* 2007. V. 73. P. 4395–4406.
52. Keller A.Z. et al. Eutrophication, blooms and toxins of cyanobacteria (blue-green algae), and health / A.Z. Keller, H.C. Wilson et al. // *The changing face of Europe: Disasters, pollution and the environment*. Vol. 14. Aquatic problems. Proceedings of the Fourth Disaster Prevention and Limitation Conference. Bradford, University of Bradford, 1992. P. 33–62.
53. Sivonen K. et al. Cyanobacterial toxins / K. Sivonen, G. Jones // *Toxic Cyanobacteria in Water – a guide to their public health consequences, monitoring and management*. London: E&F.N.Spon. 1999. P. 41–111.
54. *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. London, World Health Organization (WHO), 1999. P.
55. Wang W., Shui Y., He M. and Liu, P. (2017). Comparison of flocs characteristics using before and after composite coagulants under different coagulation mechanisms. *Biochemical Engineering Journal*, vol. 121, pp. 107–117.
56. Xie L. et al. Organ distribution and bioaccumulation of microcystins in freshwater fish at different trophic levels from the eutrophic lake Chaohu, China / L. Xie, P. Xie, L. Guo et al. // *Env. Toxicology*. 2005. V. 20. P. 293–300.