

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Институт «Архитектурно-строительный»
Кафедра «Градостроительство, инженерные сети и системы»

ВКР МАГИСТРА
ПРОВЕРЕНА

Рецензент

Брыкунов Д.В.

_____ 20__ г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой
Д.В. Ульрих

_____ 20__ г.

Модернизация насосно-фильтровальной станции г. Златоуст

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ МАГИСТРА
ЮУрГУ–08.04.01.2020.305-04.30 ПЗ ВКР

Руководитель ВКР
магистра
И.А. Арканова

_____ 20__ г.

Автор ВКР
магистр группы АС-227
Е.А. Любимов

_____ 20__ г.

Нормоконтролер
Е.В. Николаенко

_____ 20__ г.

Челябинск
2020

РЕФЕРАТ

Любимов Е.А. Выпускная квалификационная работа «Модернизация насосно – фильтровальной станции г. Златоуст» – Челябинск: ЮУрГУ, Архитектурно-строительный институт, 2020. – 63 с. – библ. 16 наим.

В выпускной квалификационной работе разработан проект модернизации насосно-фильтровальной станции в г. Златоуст расположенной на Тесьменском водохранилище.

Цель работы – разработка проекта по модернизации насосно - фильтровальной станции, которая приведет к улучшению качества водоподготовки, увеличению производительности сооружений. Необходимость проведения модернизации обусловлена: высоким износ оборудования, превышение фактической нагрузки на очистные сооружения над проектной, качество воды не соответствует нормам СанПиН.

В первом разделе рассмотрены общие положения о качестве воды и требования к процессу водоподготовки. Рассмотрены актуальное оборудование и методы водоочистки хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Во втором разделе изложено существующее положение насосно-фильтровальной станции г.Златоуст. Описан действующий процесс водоподготовки.

В третьем разделе выявили недостатки, разработали предложения по модернизации насосно-фильтровальной станции.

Четвертый раздел посвящен расчетам, предложенного варианта модернизации.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	6
1.1 Требования к качеству питьевой воды.....	6
1.2 Нормирование качества питьевой воды	7
1.2.1 Органолептические показатели	7
1.2.2 Гуминовые вещества и способы удаления из воды.....	11
1.2.3 Бактериологические показатели	11
1.4 Методы улучшения качества питьевой воды	12
1.4. 1 Обесцвечивание и осветление воды.....	12
1.4. 2 Коагулянты и флокулянты	13
1.4. 2.1. Алюмосодержащие коагулянты	15
1.4.2.2 Смесители	19
1.4. 2.3 Камеры хлопьяобразования	21
1.4. 2.4 Отстойники и осветлители со слоем взвешенного осадка.....	25
1.4. 2.5 Фильтры АКХ.....	28
1.5 Обеззараживание питьевой воды	29
1.5.1 Ультрафиолетовое обеззараживание	31
1.5.2 Обеззараживание воды ультразвуком.....	32
1.5.3 Кипячение	33
1.5.4 Обеззараживание фильтрацией	33
2 СУЩЕСТВУЮЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ.....	34
2.1 Общая характеристика города Златоуст	34
2.2 Гидрология.....	34
2.3 Источники водоснабжения.....	34
2.4 Анализ существующей схемы очистки воды	36
3 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ НАСОСНО-ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ СТАНЦИИ	38
4 ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТЫ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ.....	40
4.1 Реагентное хозяйство	40
4.2 Расчет расхода дозы коагулянта нормативные и фактические	42
4.2.1 Расчет установки для приготовления раствора коагулянта.....	43

4.2.2 Расчет дозы извести для подщелачивания воды.....	46
4.3 Расчет горизонтального отстойника	47
4.3.1 Камера хлопьеобразования	48
4.4 Замена фильтрующей загрузки фильтра.....	50
4.5 Замена газообразного хлора на гипохлорит натрия (NaClO)	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	52
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	57
ПРИЛОЖЕНИЕ	59

ВВЕДЕНИЕ

В связи с ростом объемов водопотребления и недостаточностью источников подземных вод для целей водоснабжения используются источники поверхностных вод, забираемых из рек и водоемов.

К качеству питьевой воды предъявляются требования в соответствии с нормами действующего стандарта. Высокие требования предъявляются также и к качеству воды, идущей на технологические цели промышленных предприятий, так как от этого во многом зависит нормальное функционирование промышленных агрегатов и оборудования цехов.

Качество воды в источниках водоснабжения часто не соответствует предъявляемым требованиям, поэтому возникает задача его улучшения. Улучшение качества природной воды для хозяйственно-питьевых нужд и технологических целей достигается различными специальными методами ее обработки (очистки). В целях улучшения качества питьевой воды и ее очистки в составе современных водопроводов возводятся специальные комплексы очистных сооружений, объединяемые в водоочистные станции.

Актуальность работы заключается в том, чтобы найти приемы и методы которые бы соответствовали современным требованиям водоподготовке, при этом максимально использовать существующее оборудование и аппараты.

Объектом проекта модернизации является насосно-фильтровальная станция города Златоуст, источник

Цель работы является разработка проекта по модернизации, которая приведет к улучшению качества водоподготовки, увеличению производительности сооружений.

Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие **задачи**:

- 1) Изучить общие положения о качестве воды и требования к процессу водоподготовки;
- 2) Провести исследования по всем стадиям существующего положения насосно-фильтровальной станции;
- 3) Выявить недостатки существующей схемы и разработать предложения по модернизации;
- 4) Дать рекомендации по модернизации технологии водоподготовки хозяйственно-бытового и питьевого назначения.

Научная новизна работы: проведены исследования по всем стадиям существующей очистки, изучены приемы борьбы маломутных вод с высокой цветностью.

Практическая значимость работы: заключается в получении технологий для модернизации насосно-фильтровальных станций для малых городов.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Требования к качеству питьевой воды

В Российской Федерации качество питьевой воды должно удовлетворять определенным требованиям, установленным СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода» [1]. В Европейском Союзе (ЕС) нормы определяет директива «По качеству питьевой воды, предназначенной для потребления человеком» 98/83/ЕС [2]. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) устанавливает требования к качеству воды в «Руководстве по контролю качества питьевой воды 1992 г» [3]. Также существуют нормы Агентства по охране окружающей среды США (U.S.EPA) [4]. В нормах присутствуют незначительные отличия по различным показателям, но лишь вода соответствующего химического состава обеспечивает здоровье человека. Присутствие неорганических, органических, биологических загрязнений, а также повышенное содержание нетоксичных солей в количествах, превышающих указанные в представленных требованиях, приводит к развитию различных заболеваний.

Основные требования к питьевой воде заключаются в том, что она должна иметь благоприятные органолептические показатели, быть безвредной по своему химическому составу и безопасной в эпидемиологическом и радиационном отношении. Перед подачей воды в распределительные сети, в точках водозабора, наружной и внутренней водопроводных сетях качество питьевой воды должно соответствовать гигиеническим нормативам, представленных в таблице 1 (Приложение).

Проанализировав данные таблицы, можно заметить существенные различия по некоторым показателям, таким как жесткость, окисляемости, мутность и т.д.

Безвредность питьевой воды по химическому составу определяется ее соответствием нормативам по обобщенным показателям и содержанию вредных химических веществ, наиболее часто встречающихся в природных водах на территории Российской Федерации, а также веществ антропогенного происхождения, получивших глобальное распространение (см. таблицу А.1).

Содержанию вредных химических веществ, поступающих и образующихся в воде в процессе ее обработки в системе водоснабжения (см.таблицу1).

Таблица 2 – Содержание вредных химических веществ, поступающих и образующихся в воде в процессе ее обработки в системе водоснабжения [1]

Наименование показателя, мг/дм ³	Норматив, не более	Показатель вредности	Класс опасности
Хлор остаточный свободный	в пределах 0,3–0,5	орг.	3
Хлор остаточный общий	в пределах 0,8–0,9	орг.	3

Продолжение таблицы 2

Хлороформ (при хлорировании воды)	0,2	с.-т.	2
Озон остаточный	0,3	орг.	
Формальдегид (при озонировании воды)	0,05	с.-т.	2
Полиакриламид	2,0	с.-т.	2
Активированная кремнекислота (по Si)	0,5	с.-т.	2
Полифосфаты (по PO_4^{3-})	3,5	орг.	3
Остаточные количества коагулянтов, мг/дм ³			
Алюминийсодержащих (по Al^{3+})	0,5	с.-т.	2
Желесодержащих (по Fe)	0,3	орг.	3

Окончание таблицы 2

1.2 Нормирование качества питьевой воды

Целью нормирования качества питьевой воды является сохранение здоровья человека. При употреблении недоброкачественной воды у человека возможно развитие заболеваний инфекционной и неинфекционной этиологии. Требования к качеству питьевой воды изложены в документе СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» [2].

Нормирование осуществляется по следующим группам показателей:

1. Органолептические.
2. Химические.
3. Бактериологические
4. Вещества, попавшие в воду в результате ухудшения ее свойств.

1.2.1 Органолептические показатели

Прозрачность воды напрямую зависит от взвешенных частиц минерального или органического происхождения. Воду можно называть прозрачной, когда шрифт Снеллена можно прочитать через ее слой высотой равный 30 см.

Значение прозрачности:

Водопотребление уменьшается или полностью ограничивается при уменьшении прозрачности.

Показателем эффективности процесса осветления воды можно считать прозрачность

Снижение прозрачности вод, может указывать на их загрязнение

Мутность

Взвешенные частицы, минерального или органического происхождения находящиеся, в воде напрямую зависят от мутности.

Размер частиц, может меняться от наименьших до 0,1 мм.

Их разделяют на 3 категории: глины, органические частицы, и волокнистые частицы. Основной объем взвешенных веществ в природных водах образуют частицы почвы, которые уносятся с поверхности земли. грубые фракции песка и ила, полностью или частично покрыты органическим веществом [4].

Неприятная и мутная вода, может быть вызвана скоплением органических примесей.

Примером является цветение сине-зеленых водорослей в поверхностных водоемах.

Наличие мутности также связано со многими другими показателями качества воды. Высокая цветность образуется за счет коллоидных частиц, а как правило это 50% цветности, обуславливается гуминовыми веществами.

Микробиологические показатели хозяйственно-питьевого водоснабжения могут быть вызваны мутностью.

Мутность может осложнять выявление в питьевой воде бактерий и вирусов. Рост микробов в воде происходит наиболее интенсивно на поверхности частиц и в свободных хлопьях, встречающихся в природных условиях, а также в хлопьях, образующихся в процессе коагуляции. Этот рост облегчается тем, что питательные вещества адсорбируются на поверхностях, благодаря чему задерживающиеся на них бактерии могут расти эффективнее по сравнению с бактериями, находящимися в свободном состоянии в суспензии.

В процессе очистки воды коагуляцией бактерии и вирусы улавливаются образующимися хлопьями и удаляются вместе с мутностью. Вода может считаться безопасной для питья только при проведении перед хлорированием коагуляции и фильтрации.

Значение мутности:

а) Применяется как показатель эффективности удаления частиц в процессе водоподготовки.

б) Выявление высокой мутности в месте водозабора, по сравнению с поступлением в сеть, является показателем загрязненности после очистки .

Цветность – это природное свойство воды, обусловленное наличием:

а) гуминовых веществ, которые придают ей окраску от желтоватого до коричневого цвета. Гуминовые вещества являются продуктами разрушения органических веществ в почве, вымываются из нее и поступают в воды открытых водоемов, поэтому цветность присуща воде открытых водоемов и резко увеличивается в паводковый период [4].

б) металлов, таких как железо и марганец. В подземных, а также в некоторых поверхностных водах часто присутствуют железо и марганец, которые придают им окраску. Другим важным источником поступления железа в питьевую воду является растворение железных труб, по которым подается вода. Железо и марганец соответственно могут вызывать красную и черную окраску воды. Медь, вымываемая из медных труб, помимо слабо-голубой окраски воды может в особо

выраженных случаях вызывать сине-зеленое окрашивание санитарно-технического оборудования.

в) высокоокрашенных промышленных стоков, среди которых наиболее распространены стоки целлюлозно-бумажных и текстильных предприятий.

Цветность

Цветность – это природное свойство воды, обусловленное наличием:

а) при окраске от желтоватого до коричневого цвета наличием гуминовых веществ. Они являются результатом разрушения в почве органических веществ, вымываются и попадают в воды открытых водоемов.

б) таких металлов, как железо и марганец. Также одним из важных источников является коррозия железных труб, по которым подается вода. Наличие металлов соответственно может вызывать красную и черную окраску воды.

в) стоков целлюлозно-бумажной и текстильной промышленности.

Влияние на здоровье. Поставка воды с выраженной окраской может привести к замене поставщика, применение альтернативным источникам малоцветной воды, возможно не безопасным.

Возможно появление комплексов, при взаимодействии с некоторыми металлами гуминовых веществ.

Это может значительно повышать растворимость металлов, и в некоторых случаях образовывать вовсе нерастворимые комплексы, при работе с которыми необходимо использование солей железа и алюминия при получении питьевого водоснабжения.

Не установлено, что растворенные гуминовые вещества придают питьевой воде привкус. Известно, что окрашенные органические вещества в воде стимулируют рост многих водных микроорганизмов, некоторые из которых ответственны за появление запаха воды. Вода, содержащая очень мало растворимых гуминовых веществ, может обладать большей способностью вызывать коррозию металла, чем вода, содержащая их в больших количествах. Поскольку гуминовые кислоты и некоторые их комплексы с металлами плохо растворимы при значении рН питьевой воды, они могут быть отчасти ответственны за мутность пробы воды.

Трудность поддержания концентрации свободного остаточного хлора в распределительных системах может быть обусловлена присутствием в очищенной воде окрашенных органических веществ. Это обусловлено реагированием хлора с гуминовыми веществами с образованием тригалометанов. Цветность может мешать химическому анализу многих компонентов воды.

Цветность воды не должна быть выше 20^0 .

Значение цветности:

- при цветности выше 35^0 ограничивается водопотребление;
- изменение цветности подземных вод свидетельствует об их загрязнении
- является показателем эффективности обесцвечивания воды [5].

Запах и привкус

Оценка запахов и привкусов проводится на основании учета их интенсивности и характера. Интенсивность определяется по пятибалльной шкале. При наличии запахов и привкусов в воде выясняют их характер. Запахи и привкусы могут быть естественного и искусственного происхождения. Естественные запахи обусловлены

наличием живущих в воде и отмерших организмов, влиянием берегов, дна, окружающих почв, грунтов. Присутствие в воде растительных остатков придает ей землистый, илистый или болотный запах. Если вода цветет, и в ней содержатся продукты жизнедеятельности актиномицетов, то она приобретает ароматический запах. При гниении органических веществ в воде или загрязнении ее нечистотами возникает гнилостный, сероводородный или фекальный запах. Запахи могут возникать также в условиях застоя воды на участках распределительных систем, характеризующихся низкими скоростями тока воды, или в резервуарах неочищенной и очищенной воды. В процессе очистки воды вещества со слабым запахом (например, амины и фенолы) могут превращаться в соединения, обладающие очень интенсивным запахом (хлорамин и хлорфенол). Размножение в распределительных системах железобактерий также может быть источником запаха. Естественный вкус воды определяется как соленый, горький, сладкий и кислый. Остальные виды вкусовых ощущений определяются как привкусы. Запахи и привкусы искусственного происхождения определяют по названиям тех веществ, запах и вкус которых они имитируют: фенольный, хлорфенольный, металлический, бензиновый и другие [4].

Значение запахов и привкусов:

- при их интенсивности выше 2 баллов ограничивается водопотребление, так как оказывают рефлекторное влияние на водно-питьевой режим и физиологические функции организма;
- искусственные запахи и привкусы могут быть показателями загрязнения воды промышленными сточными водами;
- естественные запахи и привкусы интенсивностью свыше 2 баллов свидетельствуют о наличии в воде биологически активных веществ, выделяемых водорослями.

В системах централизованного водоснабжения изменение вкуса может сигнализировать об изменениях качества воды в источнике, недостатках в процессе очистки или химической коррозии и биологическом росте в распределительной системе.

Интенсивность запахов и привкусов не должна превышать 2 баллов.

Температура

Холодная питьевая вода предпочтительнее теплой. Интенсивность привкуса и запаха наибольшая в воде комнатной температуры. Мутность и цветность связаны с температурой, поскольку от нее сильно зависит эффективность коагуляции. Рост микроорганизмов активизируется в теплой воде.

Вода, имеющая температуру 8-15⁰С, оказывает приятное освежающее действие, лучше утоляет жажду, быстрее всасывается, стимулирует секреторную и моторную деятельность ЖКТ, свыше 25⁰С – плохо утоляет жажду, 25-35⁰С – неприятна, вызывает рвотный рефлекс.

Значение:

- повышение может служить показателем загрязнения подземных вод, имеющих постоянную температуру [5].

1.2.2 Гуминовые вещества и способы удаления из воды

Гуминовые вещества – тёмно-окрашенные природные высокомолекулярные органические азотсодержащие гетерополимеры арилгликопротеидной природы.

Им свойственно отсутствие постоянства химического состава и молекулярной массы. Эти вещества – являются нетоксичными соединениями, в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 относятся к IV классу опасности, в живых организмах не кумулируются, местный раздражающий эффект на коже не вызывают, аллергическим и мутагенным действием не обладают.

Сам по себе, гумус коричневого цвета, поэтому вещества, входящие в его состав, придают воде коричневый окрас. На количество таких веществ, в первую очередь, влияют: характер почвы, геологические условия, а также наличия поблизости с водоемом торфяников и болот. Незначительное количество гуминовых веществ попадает в водоем, непосредственно при разрушении микроорганизмами водорослей. Чем выше содержание гуминовых веществ в воде, тем интенсивнее выражается ее цвет.

Известно, что гуминовые вещества, обуславливающие цветность и перманганатную окисляемость воды, делятся на две группы – гуминовые и фульвокислоты. Высокая дифференциация гуминовых кислот по молекулярным массам и специфическим свойствам затрудняет процесс реагентной очистки воды. Повышенной устойчивостью к действию сорбентов и окислителей обладают окрашенные фульвокислоты (креновые и апокреновые), находящиеся в воде в растворенном или коллоидном состоянии.

Для очистки воды, содержащей гуминовые вещества, наиболее часто используют корректировку pH, мембранное разделение, озонирование, сорбцию и электроразрядные технологии [6].

1.2.3 Бактериологические показатели

Водные патогенные бактерии

Фекальное загрязнение питьевой воды может обусловить поступление в воду различных кишечных патогенных организмов (бактериальных, вирусных и др.), причем их присутствие связано с микробными болезнями и носителями, имеющимися в данный момент среди населения изучаемого района. Кишечные патогенные бактерии широко распространены во всем мире. Среди известных, встречающихся в загрязненной воде, штаммы *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichiacoli*, *Vibriocholerae*, *Yersiniaenterocolitica*, *Camhylobacterfetus*. Эти организмы могут вызывать заболевания, варьирующие по степени тяжести от легкой формы гастроэнтеритов до тяжелых, а иногда летальных форм дизентерии, холеры и брюшного тифа [8].

Некоторые организмы, которые находятся в окружающей среде, не являются патогенными возбудителями, но могут иногда вызывать заболевания, которые вызваны условно-патогенными организмами. Подобного рода микроорганизмы, содержащиеся в питьевой воде, могут вызывать инфекционные заболевания, с нарушением местных или общих иммунозащитных механизмов. Чаще всего таким

заболеваниям подвергаются пожилые люди, дети и больные, госпитализированные по случаю ожогов, и нуждающихся в иммуносупрессивной терапии.

Если при взаимодействии с микроорганизмами такие как *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, больные люди могут столкнуться с возникновением различных инфекций, которые, в свою очередь вызовут инфекционные поражения кожи и слизистых оболочек глаза, уха и носоглотки.

Распространение кишечных бактериальных инфекций в воде, значительно колеблется в зависимости от заболевания и местных условий.

На данный момент, нет проблемы установить факт множества патогенных агентов, но методы их выделения и количественного определения, остаются достаточно сложными и продолжительными.

Проводить мониторинг каждого патогенного микроба, в связи с загрязнением питьевой воды, достаточно не целесообразно.

Наиболее рациональным и логичным методом является определение микроорганизмов, которые присутствуют в фекалиях человека и других теплокровных животных, как индикаторы для выявления фекального загрязнения и показатели эффективности очистки и обеззараживания воды хозяйственно-питьевого назначения [6].

Из этого следует, что микроорганизмы–индикаторы фекального загрязнения, позволяют более точно узнать информацию о качестве воды.

Микроорганизмы – индикаторы фекального загрязнения.

Общепризнанными показателями фекального загрязнения, являются кишечные микроорганизмы. Для полнейшего обнаружения подобных бактерий, в идеале, должно говорить о том, что присутствуют все патогенные агенты, которые указывают на определенный вид загрязнений.

Индикаторные микроорганизмы всегда присутствуют в экскрементах, но отсутствуют в других источниках. Эти организмы, достаточно легко выделяются и количественно определяются, а также не размножаются в воде. По сравнению с патогенными бактериями, дольше выживают в водной среде, а также лучше всего устойчивы к действию обеззараживающих агентов.

Практически какой-либо один микроорганизм не может отвечать всем этим критериям. Микроорганизмы, используемые в качестве бактериальных индикаторов фекального загрязнения, включает группу колиформных организмов в целом, *E. Coli* и колиформные организмы, которые были описаны как «фекальные колиформы», фекальные стрептококки и сульфитредуцирующие клостридии [6].

1.4 Методы улучшения качества питьевой воды

1.4. 1 Обесцвечивание и осветление воды

Осветление воды – это удаление взвешенных веществ из воды, а под обесцвечиванием понимают удаление окрашенных растворенных веществ. Достижение осветления и обесцвечивания достигается методами отстаивания, фильтрацией через пористые материалы, коагулирование. Данные методы часто

применяются друг с другом. Фильтрация с отстаиванием и коагулирование с фильтрацией и отстаиванием.

Принцип фильтрации заключается в задерживании взвешенных частиц, внутри или снаружи фильтрующей среды. Осаждение – процесс выпадения в осадок, взвешенных частиц. (Часто применяют специальные устройства для осаждения – отстойники).

Преимущество процесса осаждения – отсутствие каких-либо дополнительных затрат при осветлении воды. От размеров частиц, зависит скорость протекания процесса. Наблюдается увеличение времени осаждения при уменьшении размера частиц. Для выделения тяжелых и крупных взвесей – оптимальное использование процесса осаждения.

Любое качество осветления воды, может обеспечить процесс фильтрации. Но данный способ, требует дополнительных затрат, которые нужны для уменьшения гидравлического сопротивления пористой среды. Для того, чтобы предотвращать загрязнение пористого материала, следует проводить чистку данного материала, которая способна восстанавливать исходные свойства фильтра.

Чем больше в воде взвешенных веществ, тем выше требования к показателю осветления. Эффект осветления может быть повышен при обработке воды химическими веществами, что требует использования таких методов, как: коагуляция, флокуляция и химическое осаждение.

Начальная стадия обработки воды на водоочистных станциях, характеризуется процессами обесцвечивания и осветления. Данный процесс производится путем отстаивания воды в емкостях со следующей фильтрацией через различные виды фильтров, такие как песчано-угольные. Для ускорения процесса осаждения взвешенных частиц, в воду вводят коагулянты или же флокулянты ($Al_2(SO_4)_3$ и $FeCl_3$).

Для увеличения скорости коагуляции используют полиакриламид. После всех процессов: коагуляции, отстаивания и фильтрации, вода приобретает абсолютную прозрачность (бесцветность), а также происходит удаление яиц геогельминтов и снижения на 70-90% микроорганизмов [7].

1.4.2 Коагулянты и флокулянты

Коагуляционная и флокуляционная очистка сточных вод: что собой представляют флокулянты и коагулянты Коагулянт представляет собой особое вещество, которое добавляется в очищаемую воду. Чаще всего он используется для удаления загрязнений из:

- питьевой воды (в загородном доме, в походе, пр.);
- сточных и других вод в процессе их комплексной подготовки для подачи на жилые объекты;
- аквапарков, бассейнов, других искусственных водоемов;
- промышленных стоков.

А также в качестве связующего материала ряда промышленных процессов. Применение коагулянтов позволяет избавляться от неприятного запаха, резкого вкуса, мутности и посторонних оттенков питьевой воды. Некоторые люди считают, что очищать воду с применением коагулянтов небезопасно, но специалисты

утверждают обратное. В очищенной воде вещество остается, но в минимальных количествах, поскольку основная его часть выводится вместе с загрязнителями. Данная концентрация является полностью безопасной для здоровья человека [8].

Обработка химическими коагулянтами не могла бы не потребоваться, если бы все взвешенные вещества в неочищенной воде, были бы крупные, чтобы их легко можно удалить известными способами водоочистки.

Однако, наибольшая часть взвешенного вещества состоит из достаточно мелких и очень твердых частиц, который в большей степени представляют коллоиды.

Ввиду малого размера они не поддаются осаждению, флотации или фильтрации, и их приходится предварительно подвергать коагуляции. И флоакулянты, и коагулянты – это реагенты, которые используются на первых стадиях очистки воды от загрязняющих частиц. Коагулянты объединяют мелкие частички дисперсных систем в крупные под воздействием сил сцепления. Применение коагулянтов способствует понижению степени окисляемости обрабатываемых водных масс, уменьшению содержания в них взвешенных частичек, улучшению основных технологических процессов обработки, которые происходят в очистных сооружениях и осветлителях. Флоакулянты обеспечивают слипание неустойчивых агрессивных частичек и тем самым интенсифицируют процесс образования хлопьев. Данные вещества осветляют водные массы и улучшают и качество по ряду контролируемых показателей. Например, снижается щелочность, содержание общего железа, а концентрация взвешенных частиц падает в 3-5 раз. Предварительный лабораторный анализ состава стоков обязателен. Он дает представление о качестве воды, основных загрязнителях и позволяет составлять максимально эффективный план очистки [9].

Железосодержащие коагулянты используются реже, чем алюмосодержащие. Хорошо убирает посторонние запахи. К органическим и неорганическим коагулянтам относят известковые растворы, вещества с примесями алюминия и железа. По своему химическому составу они все относятся к солям кислот. Неорганические имеют длительный срок хранения и не представляют сложностей в использовании. Органические бывают природными и искусственными, экономичны в расходе, имеют стабильный кислотно-щелочной состав, эффективно удаляют хлор, после завершения процесса очистки из воды выводятся практически полностью. Также данные вещества удобные в приготовлении, нормально взаимодействуют с водородными, осадок дают минимальный и существенно повышают срок службы стационарных фильтрационных установок. Реагенты для питьевой воды FLOQUAT™ и FLOPAM™. Рассмотрим их.

Органические полимерные коагулянты серия FLOQUAT™ имеют высокие катионный заряд, поэтому эффективно дестабилизируют отрицательно заряженные коллоидные частички. По сравнению с неорганическими коагулянтами полимерные работают в широком диапазоне рН и щелочности, экономичны в расходе, не изменяют рН очищенной воды, хлорирования не боятся и не добавляют в очищенную воду растворенных металлов.

Органические флокулянты серии FLOPAM™ PWG применяются в комплексе с коагулянтами, способствуют увеличению размеров хлопьев и упрощают их дальнейшее удаление. В продаже представлены катионные, анионные,

неионные флокулянты с разными молекулярными массами и показателями плотности заряда в виде порошков, гранул, водных растворов, эмульсий. Полимерные флокулянты имеют высокую молекулярную массу, образуют мостики между микрохлопьями, создавая крупные макрохлопья. Они позволяют минимизировать время отстаивания и максимизировать качество воды, исключают перенос частиц, повышают производительность фильтра без капитальных затрат.

Умягчитель воды серии FLOSPERSE™ используется для умягчения воды, применяемой в хозяйственно-бытовых, питьевых целях, на пищевых производствах. В ходе дегидрирования в больших количествах выделяются аммиак и углекислый газ (из-за разложения органических материалов). Растворимые в воде газы соединяются с образованием аммонийгидрокарбоната (формула NH_4HCO_3) – вещества, которое является сильным буфером с pH ниже 7. Для предотвращения осаждения в осадок солей нужно добавлять FLOSPERSE™ [10].

1.4. 2.1. Алюмосодержащие коагулянты

В водоподготовке применяют последующие алюминий содержащие коагулянты: сульфат алюминия (СА), оксихлорид алюминия (ОХА), алюминат натрия и хлорид алюминия (табл. 2).

Таблица 2 – Алюмосодержащие коагулянты

Коагулянт	Формула	Содержание % по массе	
		Al_2O_3	Нерастворимых примесей
Сульфат алюминия неочищенный	$\text{Al}_2(\text{SO}_4) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	>9	<30
Сульфаталюминия очищенный	$\text{Al}_2(\text{SO}_4) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ $\text{Al}_2(\text{SO}_4) \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ $\text{Al}_2(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	>13,5 17-19 28,5	<1-3,1
Оксихлорид алюминия	$\text{Al}_2(\text{OH})_5 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	40-44	–
Алюминат натрия	NaAlO_2	45-55	6-8
Полиоксихлорид алюминия	$\text{Al}_n(\text{OH}) \cdot \text{Cl}_{3n-m}$ где $n > 13$	30 ± 3	–

Сульфат алюминия ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) – технически неочищенное соединение, которое представляет собой фрагменты серовато-зеленоватого цвета, получаемые при обработке серной кислотой бокситов, глин или нефелинов. Оно должно иметь не меньше 9% Al_2O_3 , что эквивалентно содержанию 30% чистого сульфата алюминия.

Очищенный СА получают в форме плит серовато–перламутрового цвета из неочищенного сырья или глинозема путем растворения в серной кислоте. Он должен содержать не меньше 13,5% Al_2O_3 , что эквивалентно содержанию 45% алюминия сульфата [10].

В России для очистки воды производят 23–25%-ный раствор сульфата алюминия. При использовании сульфата алюминия отпадает потребность в специально предназначенном оборудовании для растворения коагулянта, а также облегчается и становятся более доступными в цене и погрузочно-разгрузочные работы, и транспортирование.

При более низких температурах воздуха при обработке воды с высоким содержанием природных органических соединений применяют оксихлорид алюминия. ОХА известен под разными наименованиями: полиалюминий гидроклорид, хлоргидроксид алюминия, основной хлорид алюминия и др.

Катионный коагулянт ОХА способен образовывать сложные соединения с большим количеством веществ, содержащихся в воде. Как показала практика, применения ОХА имеет ряд преимуществ:

- ОХА – частично гидролизованная соль, обладает большой способностью к полимеризации, что увеличивает хлопьеобразование и осаждение скоагулированной смеси;
- ОХА может быть использована в широком диапазоне рН (в сравнении с СА);
- При коагулировании ОХА снижение щелочности незначительно.

Это снижает коррозионную активность воды, улучшает техническое положение водопроводов городской сети и сохраняет потребительские свойства воды, а также дает возможность полностью отказаться от щелочных агентов, что позволяет сэкономить их на средней водоочистной станции до 20 тонн ежемесячно;

- при высокой вводимой дозе реагента наблюдается низкое остаточное содержание алюминия;
- уменьшение дозы коагулянта в 1,5–2,0 раза (по сравнению с СА);
- сокращение трудоемкости и прочих затрат по содержанию, подготовке и дозированию реагента, позволяет улучшить санитарно-гигиенические условия труда [11].

Алюминат натрия NaAlO_2 – это твердые фрагменты белого цвета с перламутровым блеском на изломе, которые получают при помощи растворения гидроксида или оксида алюминия в растворе гидроксида алюминия. Сухое товарное изделие содержит 35% Na_2O , 55% Al_2O_3 и до 5% свободной NaOH . Растворимость NaAlO_2 – 370 г/л (при 200 °С).

Хлорид алюминия AlCl_3 – белый порошок плотностью 2,47 г/см³, с температурой плавления 192,40 °С. Из водных растворов образуется $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ с плотностью 2,4 г/см³. В качестве коагулянта в паводковый период при низких температурах воды применимо использование гидроксида алюминия [6].

1.4.2.1.2 Железосодержащие коагулянты

При водоподготовке используют следующие железосодержащие коагулянты: хлорид железа, сульфаты железа (II) и железа (III), хлорированный железный купорос (табл. 3).

Таблица 3 – Железосодержащие коагулянты [6]

Коагулянт	Формула	Содержание вес. %	
		Fe ₂ O ₃	нераствори мых примесей
Хлорид железа	FeCl ₃ ·6H ₂ O	>95	–
Сульфат железа (II) (железный купорос)	FeSO ₄ ·7H ₂ O	>47	<1
Сульфат железа (III)	Fe ₂ (SO ₄) ₃ ·2H ₂ O	68–76	<40

Хлорид железа (FeCl₃·6H₂O) – это темные кристаллы с металлическим блеском, обладают сильной гигроскопичностью, поэтому перевозят его в герметичных железных контейнерах. Безводное хлорное железо производят хлорированием стальных стружек при температуре 7000 °С, а также получают как вторичный продукт при изготовлении хлоридов металлов горячим хлорированием руд. Товарный продукт должен содержать не меньше 98% FeCl₃. Плотность 1,5 г/см³.

Сульфат железа(II) (СЖ) FeSO₄·7H₂O (купорос железный по ГОСТ 6981–85) – это прозрачные кристаллы зеленовато–голубоватого цвета, которые легко буреют на атмосферном воздухе. Как товарную продукцию СЖ выпускают двух марок (А и Б), который содержит соответственно не менее 53% и 47% FeSO₄, не более 0,25–1% свободной H₂SO₄. Плотность реагента – 1,5 г/см³. Этот коагулянт применим при рН > 9–10. Для того, чтобы уменьшить концентрацию растворённого гидроксида железа(II) при низких величинах рН, дополнительно проводят окисление двухвалентного железа до трёхвалентного.

Окисление гидроксида железа(II), который образуется при гидролизе СЖ при рН воды меньше 8, протекает медленно, что приводит к неполному его осаждению и коагулированию. Поэтому перед тем, как в воду добавляют СЖ, дополнительно добавляют по отдельности или вместе известь или хлор. В связи с этим, СЖ используют, в основном, в процессе известкового и известково-содового умягчения воды, когда при значении рН 10,2–13,2 удаление магниевой жесткости солями алюминия не применимы.

Сульфат железа(III) Fe₂(SO₄)₃·2H₂O получают при растворении в серной кислоте оксида железа. Продукт имеет кристаллическую структуру, очень хорошо поглощает воду, хорошо растворим в воде. Плотность его – 1,5 г/см³. Применение солей железа(III) в роли коагулянта предпочтительнее по сравнению с сульфатом алюминия. При их использовании лучше протекает процесс коагуляции при низких температурах воды, на реакцию рН среда оказывает незначительное влияние, увеличивается процесс декантатирования коагулированных примесей и сокращается время отстаивания. Недостатком использования солей железа(III) как коагулянтов-флокулянтов является потребность точного дозирования, так как его нарушении является причиной проникновения железа в фильтрат. Хлопья гидроксида железа(III) оседают неодинаково, поэтому в воде некоторое количество мелких хлопьев остается, которое впоследствии поступает на фильтры. Эти неисправности в некоторой мере удаляются при добавлении СА.

Хлорированный железный купорос $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{FeCl}_3$ получают напрямую на водоочистных сооружениях при обработке раствора сульфата железа хлором.

Одно из основных положительных качеств солей железа как коагулянтов-флокулянтов – это высокая плотность гидроксида, которая дает возможность получение более плотных и тяжёлых хлопьев, опадающих в осадок с большой скоростью [9].

Коагуляция сточных вод солями железа не подходит, так как эти воды содержат фенолы, при этом получаются растворимые в воде феноляты железа. Помимо этого, гидроксид железа служит катализатором, который помогает окислению некоторых органических.

Смешанный алюможелезный коагулянт получают в пропорции 1:1 (по массе) из растворов сульфата алюминия и хлорного железа. Соотношение может меняться, исходя из условий работы очистных аппаратов. Предпочтительность использования смешанного коагулянта – это увеличение производительности водоочистки при низких температурах воды и увеличение осадительных свойств хлопьев. Использование смешанного коагулянта дает возможность значительно уменьшить расход реагентов. Смешанный коагулянт можно добавлять как отдельно, так и изначально перемешав растворы. Первый метод наиболее предпочтителен при переходе от одной приемлемой пропорции коагулянтов к другой, но при втором способе – наиболее проще исполнять дозирование реагента. Однако затруднения, которые связаны с содержанием и изготовлением коагулянта, а также увеличение концентрации ионов железа в очищенной воде при необратимых изменениях технологического процесса, ограничивают использование смешанного коагулянта [10].

В некоторых научных трудах отмечают, что при использовании смешанных коагулянтов в некоторых случаях дают больший результат процесса опадения в осадок дисперсной фазы, лучшее качество очистки от загрязняющих веществ и уменьшение расхода реагентов.

При промежуточном отборе коагулянтов-флокулянтов как для лабораторных, так и для промышленных целей, нужно брать во внимание некоторые параметры:

1. Свойства очищаемой воды: pH; содержание сухого вещества; отношение неорганических и органических веществ и т. п.
2. Рабочий режим: реальность и условия быстрого смешивания; длительность реакции; время отстаивания и т. п.
3. Конечные результаты, которые нужны для оценки: твердые частицы; мутность; цвет; ХПК; скорость отстаивания [6].

1.4.2.2 Смесители

На сегодняшний день, есть разнообразные и эффективные типы реагентов, такие как коагулянты и флокулянты местного и зарубежного производства, к которым относится оксихлорид алюминия (ОХА), выпускаемый различными производителями [11].

Производство в США, Германии, Финляндии и тд. ведется: сульфата алюминия (ОСА), флокулянта ВПК-402, и другие коагулянты и флокулянты.

В связи с огромным ассортиментом реагентов, которые предлагаются для использования, целесообразно использовать наиболее эффективные реагенты для данных условий. На каждом объекте в результате сравнения различных коагулянтов и флокулянтов, выбирают наиболее оптимальные.

Улучшить качество процесса коагуляции и улучшения качества питьевой воды, позволит оптимальный подбор реагентов.

Одним из самых важных условий, считается система дозирования коагулянта. Для повышения надежности реагентной обработки воды и облегчения эксплуатации и контроля за процессом дозирования можно предложить:

- замену системы объемного или эжекционного дозирования коагулянта (что часто имеет место на практике) на автоматизированные системы дозирования с помощью насосов-дозаторов требуемой производительности;
- в случае применения порошкообразных и гранулированных реагентов использовать метод сухого дозирования. При этом следует применять специальное оборудование и соблюдать необходимые условия растворения реагентов (подогрев воды, механическое смешение и пр.) [12].

Эффективность процесса коагуляции в значительной степени зависит от условий смешения коагулянта с обрабатываемой водой.

В связи с этим рекомендуется:

- в существующих смесителях вихревого типа предусмотреть дробное (фракционированное) введение коагулянта в нескольких точках по высоте, что позволит обеспечить более равномерное его распределение;
- для обеспечения быстрого и равномерного смешения коагулянта с водой может быть также использовано специальное распределительное устройство подачи коагулянта, устанавливаемое в нижней части смесителя или на трубопроводе, подающем воду на смеситель.

Предлагаемое распределительное устройство изготавливается из некоррозионных материалов, должно быть разъемным для осуществления периодической прочистки отверстий распределителей.

Расчет распределительного устройства выполняется в соответствии с "Указаниями по применению технологии очистки воды на контактных осветлителях с использованием оптимальных режимов перемешивания коагулянтов с водой";

- с этой же целью возможно устройство в смесителях барботирования воды воздухом;
- в ряде случаев (особенно при очистке маломутных цветных холодных вод) рекомендуется использовать механические смесители.

Эффективность применения механического смесителя подтверждается результатами экспериментальных исследований, а также опытом работы в аналогичных условиях в Скандинавских странах.

После соответствующих экспериментальных работ и проектных проработок механические смесители могут быть изготовлены в условиях организаций ВКХ или на предприятиях региона по чертежам, разработанным применительно к конструкции данного смесителя (или камеры хлопьеобразования) [10].

Одной из проблем в технологии очистки является появление в очищенной воде в результате ее реагентной обработки остаточного алюминия, нормируемого по санитарно-токсикологическому признаку вредности.

Наличие в воде повышенных концентраций остаточного алюминия может быть связано с высокими значениями цветности или мутности питьевой воды. Для снижения концентрации остаточного алюминия и повышения качества очищенной воды необходимо осуществлять проведение коагуляционной обработки воды при оптимальных значениях основных параметров процесса (рН, щелочности воды, дозы реагентов, режима перемешивания и др.).

Так, если остаточный алюминий присутствует в воде в виде растворенных комплексных соединений с органическими веществами, то в этом случае необходимо стремиться к более глубокому снижению цветности и проведению процесса коагуляции при оптимальных значениях рН, что позволяет максимально перевести алюминий во взвешенное состояние, в котором он может быть легче изъят из воды в отстойниках и на фильтрах. При этом не исключено, что может потребоваться более глубокое, чем этого требует гигиенический норматив, снижение цветности, например, до 10-15 град. Не рекомендуется допускать увеличения цветности воды после коагуляции до 35 град., хотя это и предусмотрено СанПиНом при согласовании с органами Госсанэпиднадзора. Такое увеличение цветности практически всегда связано с резким повышением концентрации растворенного остаточного алюминия [12].

В случае повышенной мутности очищенной воды целесообразно применение флокулянтов (полиакриламида, других анионных и катионных флокулянтов), что позволяет повысить прочность хлопьев, ускорить процесс их укрупнения и улучшить осаждение скоагулированной взвеси и осветление воды. Флокулянты рекомендуется вводить в воду после образования первичных частиц гидроксида и сорбции на них взвешенных и коллоидных частиц. Во многих случаях применение флокулянтов в дополнение к коагулянту уменьшает количество остаточного алюминия. Однако их использование не всегда дает желаемого эффекта. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо осуществлять тщательный подбор коагулянта и флокулянта с определением требуемых их доз.

При низкой щелочности обрабатываемой воды и низких температурах целесообразна замена сульфата алюминия оксихлоридом алюминия. При использовании в технологии подготовки воды озона доза предварительного озонирования может оказывать существенное влияние на последующий процесс коагулирования воды [11].

С одной стороны, глубокое окисление органических загрязнений позволяет снизить дозу коагулянта, а с другой – приводит к образованию низкомолекулярных

соединений, что способствует увеличению концентрации в воде остаточного алюминия. В то же время образовавшиеся низкомолекулярные соединения при последующей коагуляции плохо сорбируются частицами гидроксида алюминия и оказывают на них стабилизирующее действие [9].

В связи с этим при установлении доз озона необходимо учитывать влияние озонирования на процессы коагуляции воды.

В случаях, когда на станции только планируется применение озонирования воды, следует, учитывая вышесказанное, обоснованно выбирать место введения озона – для первичного озонирования или промежуточного (после завершения процессов коагуляции) [7].

1.4. 2.3 Камеры хлопьеобразования

Процессы хлопьеобразования оказывают решающее влияние на эффективность работы всего комплекса сооружений по очистке природных вод, как на стадии ее отстаивания, так и фильтрования.

В то же время применяемые в нашей стране типовые, традиционные камеры хлопьеобразования гидравлического типа, встроенные в отстойники или расположенные в нижней части осветлителей, из-за своего конструктивного несовершенства не могут обеспечить необходимых условий для эффективного хлопьеобразования. В значительной степени это относится к процессам хлопьеобразования при осветлении маломутных цветных вод в периоды низких температур. Практика показала, что при очистке таких вод в свободном объеме гидравлической камеры образуются мелкие, легкие хлопья, которые, плохо осаждаясь даже в слоях небольшой высоты, выносятся на фильтры.

Учитывая важную роль процессов хлопьеобразования для очистки воды, многие исследователи занимались разработкой новых конструкций камер хлопьеобразования или модернизацией и интенсификацией существующих типов.

Наиболее эффективными и легкорезализуемыми являются совместные разработки ГНЦ РФ НИИ ВОДГЕО и НИИ КВОВ, а также СпбНИИ АКХ.

В зависимости от типа сооружений первой ступени очистки воды и конструкции камеры они могут быть реконструированы в:

- контактные (зернистые) камеры;
- тонкослойные камеры;
- тонкослойно-эжекционные камеры;
- рециркуляционные камеры.

Контактные камеры хлопьеобразования наиболее эффективны при осветлении маломутных, цветных, слабоминерализованных вод с длительными периодами низких температур. В качестве зернистой контактной среды целесообразно использовать легкие плавающие материалы, которые обеспечивают отсутствие коагуляции зернистого пространства, а также простоту их промывки обратным током воды.

Эти камеры являются самопромывающимися, так как в процессе их работы по мере накопления избыточного количества взвеси под ее тяжестью происходит расширение зернистого слоя, и накопившиеся хлопья легко вымываются потоком

осветляемой воды. Потери напора в зернистом слое не превышают 3-5 см, что гарантирует их стабильную эксплуатацию.

Учитывая конструктивные особенности контактных камер хлопьеобразования, их наиболее целесообразно использовать при реконструкции камер водоворотного типа, встроенных в вертикальные отстойники (рис.1).

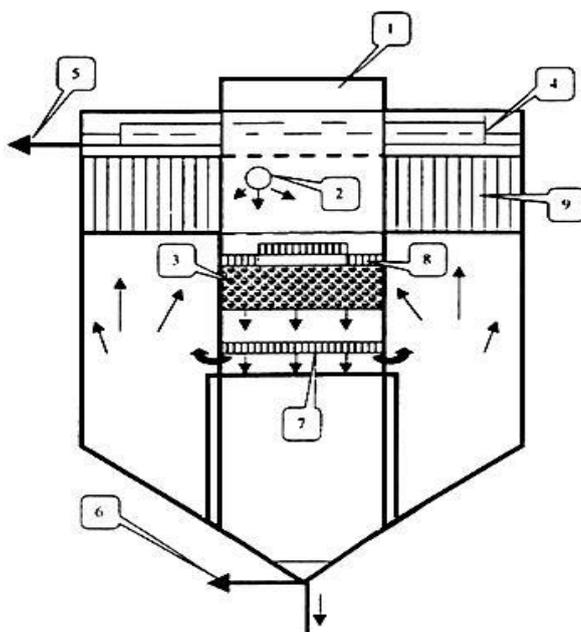


Рис.1.1 – Вертикальный тонкослойный отстойник с контактной камерой хлопьеобразования [2]: 1 – камера хлопьеобразования; 2 – подача исходной воды; 3 – контактная плавающая загрузка; 4 – сборный лоток; 5 – отвод осветленной воды; 6 – сбор осадка; 7, 8 – нижняя и верхняя поддерживающие решетки, соответственно; 9 – тонкослойные сотоблоки.

Для интенсификации работы сооружений, в которых процессы хлопьеобразования осуществляются в слое взвешенного осадка, могут использоваться тонкослойные камеры хлопьеобразования.

По сравнению с традиционной флокуляцией в объеме взвешенный слой, образованный в замкнутом пространстве тонкослойных элементов, характеризуется более высокой концентрацией твердой фазы и устойчивостью к изменениям качества исходной воды и нагрузки на сооружения.

Тонкослойные сотоблоки устанавливают в зоне взвешенного осадка коридорных осветлителей, обеспечивают равномерное распределение осветляемой воды и увеличивают коэффициент объемного использования этих сооружений до 0,9-0,92 (до реконструкции 0,65-0,7). Соответственно качество осветленной воды улучшается в 1,5-1,8 раза при одновременном увеличении в 1,3-1,7 раза нагрузок на сооружения (рис.2).

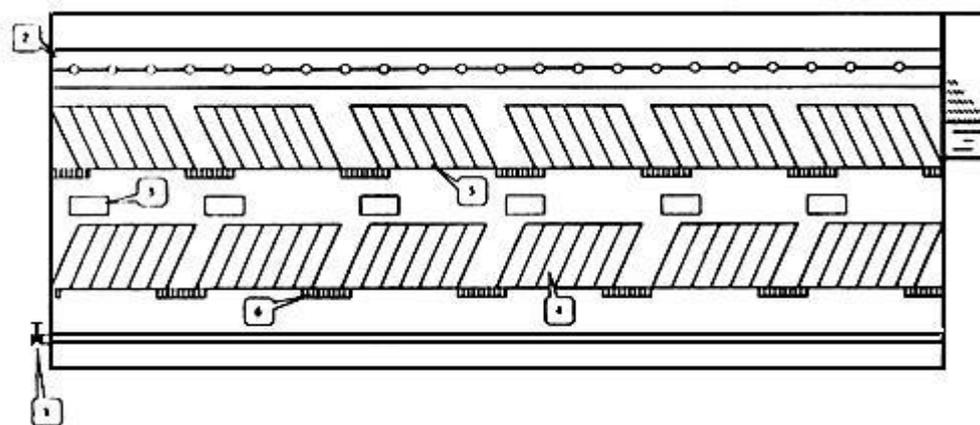


Рис.1.2. – Тонкослойный осветлитель, оборудованный тонкослойной камерой хлопьеобразования [2]: 1 – подача исходной воды; 2 – сбор осветленной воды; 3 – шламоотводящие окна; 4 – тонкослойная камера хлопьеобразования; 5 – тонкослойные отстойные сотоблоки; 6 – поперечные опоры под блоки.

При показателях качества воды, требующих для эффективного хлопьеобразования введения дополнительной твердой фазы, могут применяться тонкослойно-эжекционные (рециркуляционные) камеры хлопьеобразования.

Принцип их работы заключается в следующем: исходная вода, смешанная с реагентами, подается в нижнюю часть камер по системе трубопроводов, сконструированных по принципу работы эжекторов, и затем поступает в тонкослойные блоки, расположенные над эжекторами, с помощью которых в поток обрабатываемой воды попадает наиболее крупная хлопьевидная взвесь,

образованная в камере и осевшая на ее дно. Для этой цели рециркуляторы устанавливаются соплом вниз.

Для того, чтобы эжектируемая взвесь активно участвовала в процессе коагуляции и укрупнения коллоидных и взвешенных веществ воды, важно избежать ее диспергирования при прохождении через эжектор. Поэтому для рассматриваемых целей могут быть использованы только низкоскоростные и низконапорные гидравлические эжекторы, рассчитанные на скорость подачи воды в диапазоне 1-5 м/с и развивающие полный напор до 6 м [11].

Отличительной и важной особенностью разработанной конструкции эжекторов является то, что степень рециркуляции можно регулировать в достаточно широком диапазоне от 0 до 50%, а также можно использовать для устройства эжекторов существующие продольные распределительные трубы, если дооборудовать их соответствующими насадками и системой подвижных шторок (рис.3).

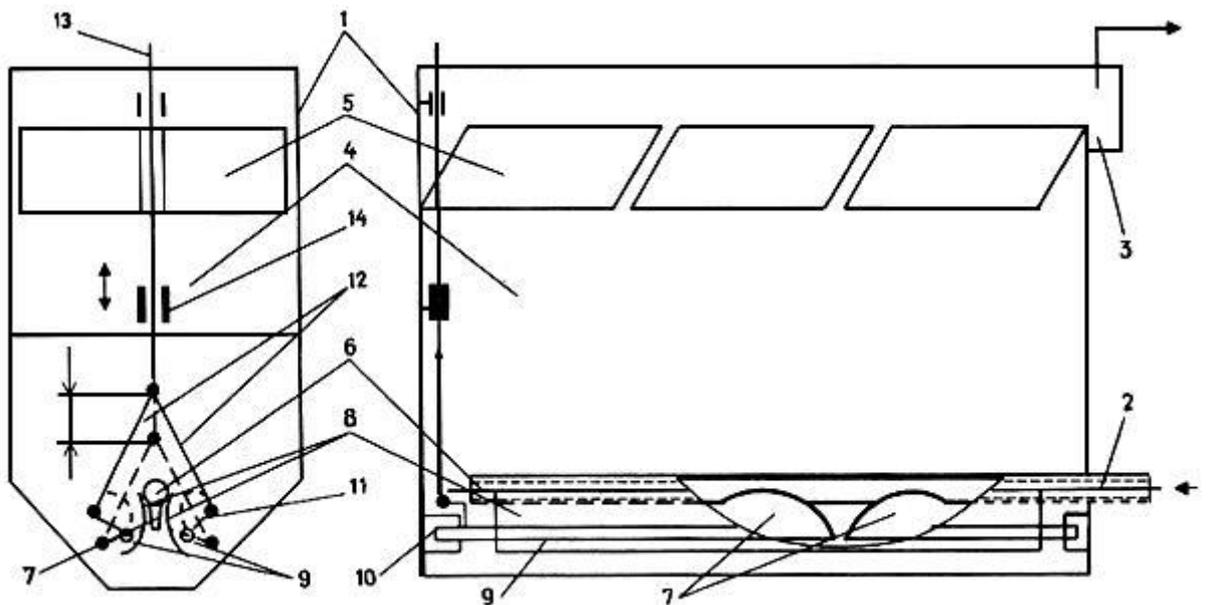


Рис.1.3. – Схема оборудования камер хлопьеобразования (с рециркуляторами и тонкослойными хлопьеобразующими блоками) [2]: 1 – камера хлопьеобразования; 2 – подача исходной воды; 3 – отвод воды в отстойник; 4 – зона взвешенного слоя; 5 – тонкослойные хлопьеобразующие блоки; 6 – горизонтальный перфорированный трубопровод; 7 – неподвижные насадки; 8 – симметричные подвижные створки; 9 – ось вращения подвижных створок; 10 – втулки; 11 – рычаги; 12 – тяги; 13 – штанга; 14 – направляющие.

Тонкослойно-эжекционные камеры хлопьеобразования с регулируемой степенью эжекции целесообразно использовать при реконструкции камер, встроенных в горизонтальные отстойники, и осветлителей со слоем взвешенного осадка длиной не более 6 м. При большой длине степень регенерации является величиной нерегулируемой и может быть рассчитана по разработанной методике с учетом характерных особенностей каждого водоисточника.

При осветлении маломутных вод для повышения концентрации рециркулируемой взвеси и увеличения ее гидравлической крупности над рециркуляторами на высоте не менее 0,8-1,0 м устанавливаются тонкослойные блоки. Принципиально иная конструкция рециркуляторов разработана в СпбНИИ АКХ.

В частности, в камерах хлопьеобразования зашламленного типа (рис.4) для рециркуляции осадка применяются малогабаритные аппараты, характеризующиеся значительно меньшей (в 4-5 раз) металлоемкостью по сравнению с ранее предлагаемыми ими конструкциями. Такие рециркуляторы успешно эксплуатируются на ряде водопроводных станций и позволяют существенно повысить производительность сооружений.

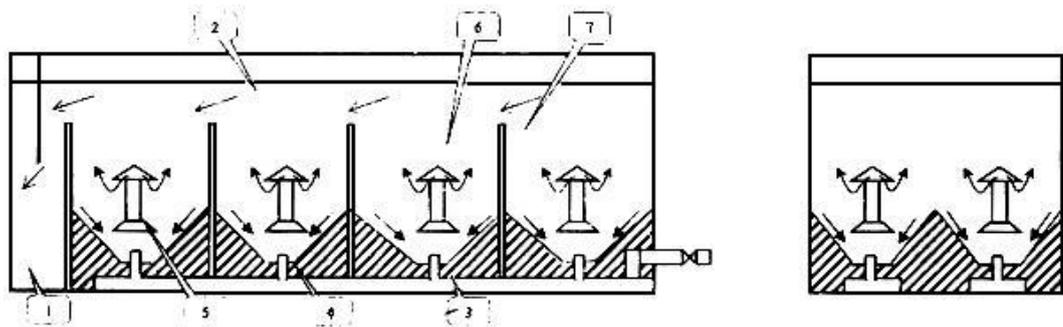


Рис.1.4. – Камера хлопьеобразования с малогабаритными аппаратами для рециркуляции осадка [2]: 1 – отстойник; 2 – камера хлопьеобразования; 3 – канал исходной воды; 4 – патрубок с соплом; 5 – смеситель; 6 – направляющий аппарат; 7 – перегородки

Как уже отмечалось, эффективность работы камер хлопьеобразования может быть повышена за счет использования механических мешалок. Вопросы практического применения предлагаемых конструкций и решений должны быть проработаны с точки зрения технологических и технико-экономических показателей для каждой водоочистной станции [7].

1.4. 2.4 Отстойники и осветлители со слоем взвешенного осадка

В современной практике очистки все более широкое применение находят тонкослойные отстойные сооружения. Использование метода тонкослойного осаждения позволяет эффективно осветлять воду при скоростях потока, достигающих 1,6-2,0 мм/с, что в 2-2,5 раза выше, чем в традиционных отстойниках и осветлителях.

Один из примеров оборудования тонкослойными элементами горизонтального отстойника со встроенной камерой хлопьеобразования представлен на рис.5.

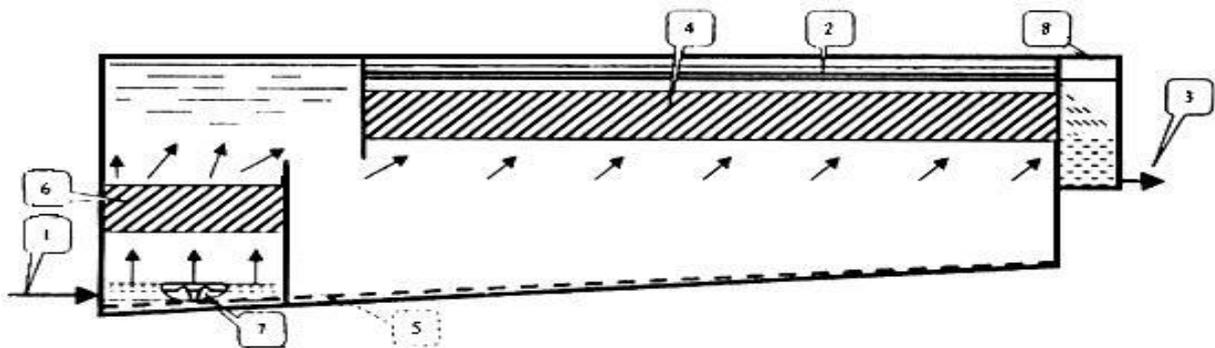


Рис.1.5. – Тонкослойный горизонтальный отстойник с тонкослойно-эжекционной камерой хлопьеобразования [2]: 1 – подача исходной воды; 2 – сбор осветленной воды; 3 – отвод осветленной воды; 4 – тонкослойные отстойные блоки; 5 – отвод осадка; 6 – тонкослойные хлопьеобразующие блоки; 7 – продольные низконапорные рециркуляторы; 8 – сборный карман.

Однако при этом необходимо учитывать, что эффективность тонкослойного осаждения определяется не только процессами, происходящими в тонкослойных

элементах, но и такими факторами, как качество подготовки хлопьев, поступающих на осаждение, равномерность сбора и распределения воды, надежность системы удаления осадка. Поэтому при проведении работ по оборудованию тонкослойными блоками отстойников и осветлителей необходимо предусмотреть способы по повышению эффективности процессов хлопьеобразования, увеличению количества сборных лотков с целью повышения коэффициента объемного использования сооружений.

Кроме того, необходимо учитывать, что тонкослойными блоками могут быть оборудованы только те отстойники, в которых осуществляется эффективное и своевременное удаление осадка, так как его накопление под тонкослойными блоками приводит к резкому ухудшению качества отстойной воды.

Таким образом, необходим комплексный подход к решению всех технологических процессов, связанных с хлопьеобразованием, осаждением, удалением осадка, а также гидравлическим режимом работы отстойных сооружений.

В России до настоящего времени тонкослойные отстойники имели небольшое применение. Основной причиной этого являлось отсутствие серийного выпуска тонкослойных элементов и блоков из них.

В настоящее время предлагаются к использованию сотоблоки из полиэтиленовых пленок и из рулонного материала ПВХ, которые характеризуются требуемой прочностью и обладают необходимой физико-химической и бактериологической стойкостью и долговечностью.

НИИ КВОВ разработана технология изготовления сотовой конструкции из полиэтиленовой пленки, что позволяет осуществлять выпуск сотоблоков любого размера в зависимости от параметров отстойного сооружения. При изготовлении сотоблоков полиэтиленовая пленка сваривается в такой последовательности, чтобы обеспечить его наибольшую пространственную устойчивость и возможность растягивать на рамы только в четырех крайних ячейках (рис.6). Длина тонкослойных элементов принята до 1,5 м, а угол наклона к горизонту должен составлять 70-75° [11].

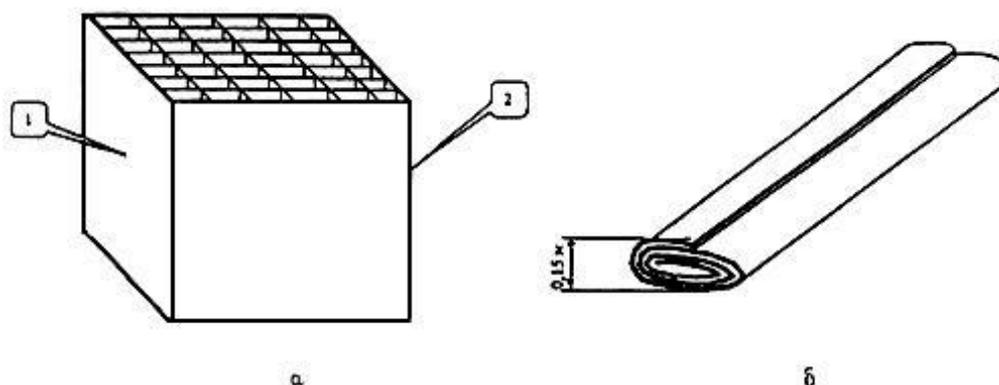


Рис.1.6. – Тонкослойный сотоблок из полиэтиленовой пленки [2]: а – общий вид; б – в сложенном виде при транспортировке; 1 – тонкослойный блок из полиэтиленовой пленки; 2 – стержни для растяжения сотоблока

Многолетние испытания работы тонкослойных сооружений на ряде водопроводных станций подтвердили высокую эффективность метода осаждения взвеси в слоях небольшой высоты. Разработанная конструкция блоков проста при монтаже, надежна и долговечна при эксплуатации.

В настоящее время разработана технология сварки и организован промышленный выпуск сотоблоков указанной выше конструкции из полиэтиленовой пленки для различных типов сооружений.

ГУП "Институт МосводоканалНИИпроект" разработан тонкослойный модуль сотового типа с самонесущей способностью (рис.7). Из рулонного материала ПВХ марки П-74 толщиной 0,4-0,5 мм изготавливаются профильные листы, из которых уже непосредственно на станции производят сотоблоки с помощью контактной сварки. Для этой сварки разработан и изготовлен специальный аппарат. Полученные в результате сотоблоки обладают самонесущей способностью [10].

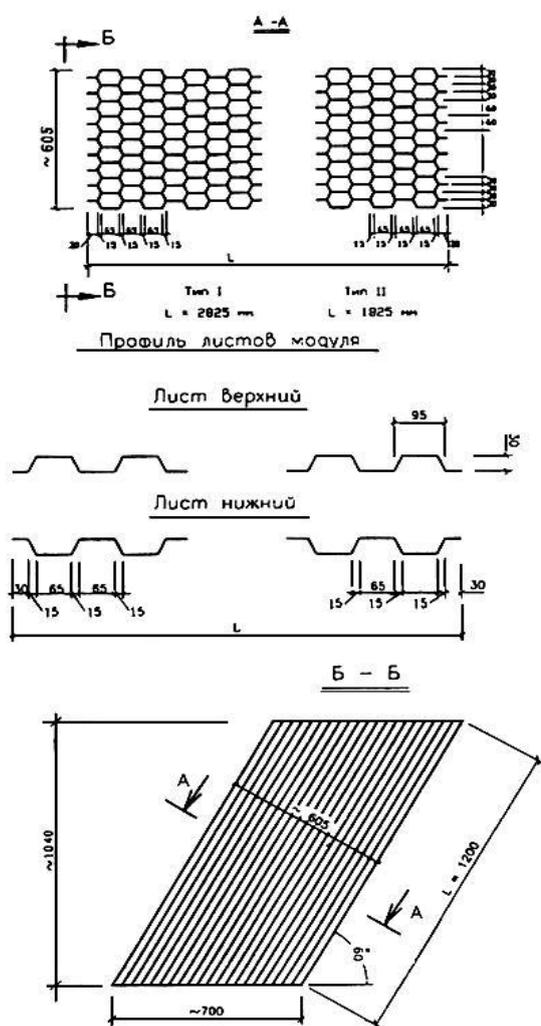


Рис.1.7. – Тонкослойные модули сотового типа из рулонного материала ПВХ [2].

Производительность оборудования составляет 20 сотоблоков в сутки. Площадь для размещения установки равна 1,7 м.

Тонкослойные элементы можно также использовать для обезвоживания и уплотнения осадка. С этой целью тонкослойные модули устанавливают в

шламоуплотнителях осветлителей ниже шламоприемных окон. Оборудование шламоуплотнителей тонкослойными блоками создает хорошие гидродинамические условия для гравитационного уплотнения и обезвоживания осадка, что позволяет увеличить период его накопления, уменьшить количество сбрасываемой с ним воды.

Для интенсификации процессов очистки воды в осветлителях со взвешенным осадком может быть использован метод рециркуляции осадка, предложенный СпбНИИ АКХ (рис.8). Применение осветлителей-рециркуляторов позволяет повысить производительность сооружений на 30-60% [9].

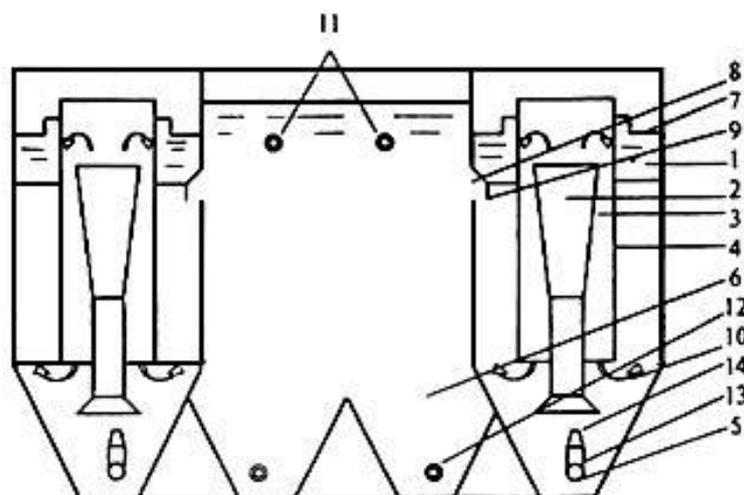


Рис.1.8. – Осветлитель-рециркулятор [2]: 1 – рабочая камера; 2 – смеситель; 3 – камера хлопьеобразования; 4 – направляющий аппарат; 5 – распределительная трубка; 6 - осадкоуплотнитель; 7 – лоток; 8 – окна; 9 – защитный козырек; 10 – слой взвешенного осадка; 11 – трубы для перепуска взвешенного осадка; 12 – трубы для выпуска уплотненного осадка; 13 – патрубок; 14 – сопло.

За счет рециркуляции осадка одновременно существенно повышается барьерная роль сооружений первой ступени очистки в отношении планктона, составляя (в зависимости от вида планктона) 90–100%.

Кроме того, рециркуляция осадка позволяет без ухудшения качества очистки утилизировать промывные воды фильтровальных сооружений путем их равномерного перекачивания из резервуара-усреднителя в головной узел водоочистной станции [7].

1.4. 2.5 Фильтры АКХ

В двухпоточном фильтре системы АКХ дренаж для отвода фильтрата расположен на некотором расстоянии от поверхности песка.

Гидравлическое сопротивление между слоями это соотношение количество воды, фильтрующейся через слои фильтра снизу и сверху.

Из-за небольшой грязеемкости верхнего слоя песка и быстрого перекрытия его пор количество воды, прошедшей через слой фильтрата, постепенно уменьшается, а количество воды, проходящей через слой загрузки в восходящем направлении – увеличивается.

Фильтрация основной массы осветляемой воды снизу вверх сначала через слой крупного, а затем через все более мелкий песок обеспечивает повышение грязеемкости (в 2,5-5 раз по сравнению с обычными скорыми фильтрами) и производительности фильтра при сокращении расхода воды на промывку.

Фильтр АКХ промывается в основном через нижний дренаж и дополнительно – через дренаж, расположенный в теле фильтра. Отвод промывной воды из фильтра осуществляется как на обычном скором фильтре.

Из-за кальмотации верхнего слоя фильтрующей загрузки к концу фильтроцикла скорость фильтрации через нижний дренаж достигает 80% суммарной скорости. Для открытых самотечных фильтров АКХ расчётная скорость фильтрации принимается не более 12 м/ч. Во время ремонта или промывки одного из фильтров, а также при форсированной работе станции допускается увеличение скорости фильтрации до 15 м/ч.

Фильтры загружены отмытым кварцевым песком и гравием разных фракций для поддерживающего слоя [8].

При промывке фильтра вначале промывная вода подаётся в дренажную систему для взрыхления верхнего фильтрующего слоя, затем подключается основная промывка через нижнюю распределительную систему при одновременной подаче воды в дренаж с минимальной интенсивностью для создания противодействия, препятствующего попаданию в него загрязнений из нижних слоев. После окончания промывки нижнюю подачу воды прекращают, а верхнюю продолжают ещё некоторое время для очистки щелей дренажных труб.

Нижняя распределительная система фильтров АКХ проектируется аналогично трубчатой системе большого сопротивления однопоточных скорых фильтров

Распределительная система фильтров АКХ выполнена из стальных труб в виде магистрали с ответвлениями, уложенными с подъёмом 0,002 к магистральному трубопроводу [10].

1.5 Обеззараживание питьевой воды

Под обеззараживанием питьевой воды понимают мероприятия по уничтожению в воде бактерий и вирусов, вызывающих инфекционные заболевания. По способу воздействия на микроорганизмы методы обеззараживания воды подразделяются на химические, или реагентные; физические, или безреагентные, и комбинированные. В первом случае должный эффект достигается внесением в воду биологически активных химических соединений; безреагентный методы обеззараживания подразумевают обработку воды физическими воздействиями, а в комбинированных используются одновременно химическое и физическое воздействия.

К химическим способам обеззараживания питьевой воды относят ее обработку окислителями: хлором, озоном и т. п., а также ионами тяжелых металлов. К физическим – обеззараживание ультрафиолетовыми лучами, ультразвуком и т. д. Перед обеззараживанием вода обычно подвергается очистке фильтрацией и (или)

коагуляцией, при которой удаляются взвешенные вещества, яйца гельминтов и значительная часть микроорганизмов.

При химических способах обеззараживания питьевой воды для достижения стойкого обеззараживающего эффекта необходимо правильно определить дозу вводимого реагента и обеспечить достаточную длительность его контакта с водой. Доза реагента определяется пробным обеззараживанием или расчетными методами. Для поддержания необходимого эффекта при химических способах обеззараживания питьевой воды доза реагента рассчитывается с избытком (остаточный хлор, остаточный озон), гарантирующим уничтожение микроорганизмов, попадающих в воду некоторое время после обеззараживания [13].

При физических способах необходимо подвести к единице объема воды заданное количество энергии, определяемое как произведение интенсивности воздействия (мощности излучения) на время контакта.

Зараженность воды микроорганизмами контролируют, определяя общее число бактерий в 1 мл воды и количество индикаторных бактерий группы кишечной палочки (БГКП). Основной вид этой группы – *E. coli* – определяется проще, чем другие бактерии этой группы. БГКП присутствуют в воде, загрязненной фекалиями, и при этом обладают одним из самых высоких коэффициентов сопротивляемости обеззараживанию. Будучи безвредной, *E. coli* является контрольным микроорганизмом, характеризующим бактериальное загрязнение воды. По СанПиН 2.1.4.1074-01 общее число бактерий должно быть не более 50 при отсутствии в 100 мл колиформных бактерий. Мерой зараженности является так называемый коли-индекс, т. е. содержание *E. coli* в 1 литре воды.

Однако эта норма не всегда коррелирует с обеззараживанием воды от вирусов. При дозах УФ-излучения и хлора, обеспечивающих одинаковый эффект обеззараживания по коли-индексу, воздействие ультрафиолета на вирусы (вируцидный эффект) значительно сильнее, чем в случае применения хлора. Озонирование же по вируцидной активности практически не уступает УФ-облучению. Реальные практические дозы для достижения высокого вируцидного эффекта: 0,5–0,8 г/л озона при контакте 12 мин; при УФ-облучении – 16–40 мДж/см³.

Наиболее распространенным методом обеззараживания воды был и остается метод хлорирования. Это объясняется высокой эффективностью, простотой используемого технологического оборудования дешевой, применяемого реагента – жидкого или газообразного хлора – и относительной простотой обслуживания.

Очень важным и ценным качеством метода хлорирования является его последствие. Если количество хлора взято с некоторым расчетным избытком, так чтобы после прохождения очистных сооружений в воде содержалось 0,3–0,5 мг/л остаточного хлора, то не происходит вторичного роста микроорганизмов в воде.

Одновременно с обеззараживанием воды протекают реакции окисления органических соединений, при которых в воде образуются хлорорганические соединения, обладающие высокой токсичностью, мутагенностью и канцерогенностью. Последующая очистка воды на активном угле не всегда может удалить эти соединения. Кроме того, что эти хлорорганические соединения,

обладающие высокой стойкостью, становятся загрязнителями питьевой воды, они, пройдя через систему водоснабжения и канализации, вызывают загрязнение рек вниз по течению.

Хлор является сильнодействующим токсическим веществом, требующим соблюдения специальных мер по обеспечению безопасности при его транспортировке, хранении и использовании; мер по предупреждению катастрофических последствий в чрезвычайных аварийных ситуациях. Поэтому ведется постоянный поиск реагентов, сочетающих положительные качества хлора и не имеющих его недостатков.

Предлагается применение диоксида хлора, который обладает рядом преимуществ, таких как: более высокое бактерицидное и дезодорирующее действие, отсутствие в продуктах обработки хлорорганических соединений, улучшение органолептических качеств воды, отсутствие необходимости перевозки жидкого хлора. Однако диоксид хлора дорог, должен производиться на месте по достаточно сложной технологии. Его применение имеет перспективу для установок относительно небольшой производительности.

Применение для обеззараживания воды хлорсодержащих реагентов (хлорной извести, гипохлоритов натрия и кальция) менее опасно в обслуживании и не требует сложных технологических решений. Правда, используемое при этом реагентное хозяйство более громоздко, что связано с необходимостью хранения больших количеств препаратов (в 3–5 раз больше, чем при использовании хлора). Во столько же раз увеличивается объем перевозок. При хранении происходит частичное разложение реагентов с уменьшением содержания хлора. Остается необходимость устройства системы притяжно-вытяжной вентиляции и соблюдения мер безопасности для обслуживающего персонала. Растворы хлорсодержащих реагентов коррозионно-активны и требуют оборудования и трубопроводов из нержавеющей материалов или с антикоррозийным покрытием. Все большее распространение, особенно на небольших станциях водоподготовки, приобретают установки по производству активных хлорсодержащих реагентов электрохимическими методами. В России несколько предприятий предлагают установки типа «Санер», «Санатор», «Хлорэл-200» для производства гипохлорита натрия методом диафрагменного электролиза поваренной соли [12].

1.5.1 Ультрафиолетовое обеззараживание

На сегодняшний день, обеззараживание ультрафиолетом, является самым эффективным и перспективным методом на станциях водоподготовки. Создаются новые экономические установки, обеспечивающие качество источника излучения и улучшение конструкций реакторов.

Принцип действия данного метода обеззараживания, заключается в непосредственном воздействии на молекулы ДНК и РНК микроорганизмов, вызывая необратимые повреждения за счет фотохимического воздействия лучистой энергии.

При выборе данного метода обеззараживания, должно быть обосновано с технологической и экономической точки зрения.

На сегодняшний день, данный метод, считается самым распространенным способом дезинфекции воды.

УФ-обеззараживание не меняет органолептических свойств воды, но при этом уничтожает различные формы бактерий. Имеет ряд преимуществ: не образует токсичные продукты и эффективный метод.

Исходя из стоимости капитальных затрат, УФ-обеззараживание занимает середину между обработкой воды хлором и озонированием (в большей и меньшей степени). Относительно хлорирования воды, ультрафиолет несет небольшие эксплуатационные расходы.

Небольшой расход электроэнергии, можно сказать низкий, а также замена ламп составляет не более 10% от стоимости всей установки.

Данные установки, актуальны для индивидуального водопользования.

Есть небольшие недостатки, такие как загрязнение кварцевых чехлов ламп различными отложениями, что значительно снижает эффективность работы данных установок.

При установке автоматической системы очистки, путем циркуляции воды, применяется введение пищевых кислот через специализированную установку. На всех остальных установках, очистка проводится исключительно механическим путем [11].

1.5.2 Обеззараживание воды ультразвуком

Принцип действия данного метода, основан, на способности образовывать частоты, которые создают большую разность давлений – кавитация. Это приводит к разрыву клеточной оболочки микроорганизма, следовательно, погибает. Степень бактерицидности зависит от силы звуковых колебаний.

Преимущества применения ультразвукового оборудования:

- За счет ультразвуковой кавитации, ультразвук уничтожает микроорганизмы, независимо от прозрачности или качественного состава воды.
- Неограниченный ресурс работы. Существующие ультразвуковые приборы, могут работать непрерывно многие годы, если производитель использовал качественные материалы, а также закладывал малую потребляемую мощность.
- Независимость от удаленности биообъекта – при помещении УФ лампы в статическую воду, произойдет гибель микроорганизмов, при условии, что будет вблизи с объектом уничтожения. То есть, чем дальше источник УФ излучения, тем меньше вероятность гибели бактерий. В то время как ультразвук, может уничтожать различные микроорганизмы независимо от расстояния.

Данный факт обусловлен возможностью ультразвука работать в упругих средах, то есть воде или в водном растворе.

Рассмотрев два наиболее эффективных оборудования обеззараживания воды, рассмотрев все недостатки и преимущества каждого из устройств, можно сделать вывод о том, что работа в тандеме ультразвука и ультрафиолета, может гарантировать 100% результат в процессе водоподготовки [11].

1.5.3 Кипячение

На сегодняшний день, самый старый и надежный метод обеззараживания. При кипячении, уничтожаются различные бактерии, вирусы и большое множество микроорганизмов, а также таким методом удаляют растворенные в воде газы.

Таким образом, удаляют жесткость воды, а вот органолептические показатели практически остаются неизменными.

Для обеззараживания воды применяют комплексные методы, основанные на совместном использовании аппаратов и химических реагентов. Например, хлорирование и УФО, озонирование и жидкий хлор [12].

1.5.4 Обеззараживание фильтрацией

Тщательную очистку от различных микроорганизмов можно произвести при помощи фильтров. Фильтры, имеющие размер поры меньше, чем размер микроорганизмов называют мембранными.

Существует несколько процессов очистки мембранными фильтрами: обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация.

Очистка с помощью мембран, считается наиболее эффективной, так как процент очистки достигает 99,9%.

Существенным недостатком данного метода, заключается в высокой стоимости оборудования [11].

2 СУЩЕСТВУЮЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ

2.1 Общая характеристика города Златоуст

Златоустовский городской округ расположен на границе Европы и Азии на северо-западе Челябинской области, в верхнем и среднем течении реки Ай и её притоков. Территория округа 1895 км², население 196,8 тыс. человек.

Город Златоуст со всех сторон окружён горами Южного Урала и расположен в горно-лесистой зоне. По территории округа проходят два крупных горных хребта западной части Южного Урала – Большой Таганай и Уреньга.

Северо-западная часть округа занята образованным 5 марта 1991 года Постановлением СМ РСФСР №130 национальным природным парком «Таганай» площадью 56 тыс. га, относящимся к министерству лесного хозяйства Челябинской области.

С севера г. Златоуст граничит с территорией города Карабаша (8,1 км), с востока – с территорией города Миасса (68,4 км), с востока и юга – с Учалинским районом республики Башкортостан (53,4 км), с запада – с Саткинским районом (86,4 км) и с северо-запада – с Кусинским районом (70,4 км) [14].

2.2 Гидрология

Река Тесьма образуется от слияния рек Большой и Малой Тесьмы, берущих своё начало со склонов хребтов Большого Таганая и Назимовского, и впадает в черте города Златоуста в городской пруд на реке Ай. Питание реки происходит в основном за счёт грунтовых вод, выходящих в долины рек Большая Тесьма и Малая Тесьма в виде ключей и ручьёв, а в периоды весеннего снеготаяния и летних ливневых дождей – поверхностными стоками.

Река Большая Тесьма имеет длину 16 км. Площадь бассейна 83 км², в 13 км от истока река перегорожена плотиной, образующей водохранилище, которое служит для целей водоснабжения города [14].

2.3 Источники водоснабжения

В г. Златоуст существует три основных поверхностных водоисточника водоснабжения:

- Больше-Тесьминское водохранилище
- Мало-Тесьминское водохранилище
- Айское водохранилище

Из подземных источников имеются пять отдельных скважин и два каптажных родника, расположенные в посёлках входящих в черту города. Каждый источник имеет собственную водораспределительную сеть не связанную с централизованной системой водоснабжения и служит для обеспечения населения водой питьевого качества [15].

Тесьминская насосно-фильтровальная состоит из двух систем очистки воды:

I система очистки проектной производительностью 30 тыс. м³/сутки включает:

- распределительную камеру (смеситель вихревого типа);

- вертикальные отстойники с встроенной камерой хлопьеобразования (2 шт.);
- двухпоточный фильтр АКХ (10 шт.)

(в трубопровод отвода фильтрата в РЧВ осуществляется подача хлора для обеззараживания питьевой воды).

– резервуары чистой воды ёмкостью: 2000 м³ (2 шт.), 750 м³ (1 шт.) и 400 м³ (1 шт.) – являются общими для первой и второй систем очистки.

– резервуар чистой воды 400 м³ отключен от других резервуаров и используется для промывки двухпоточных фильтров АКХ.

II система очистки проектной производительностью 31 тыс. м³/сутки

Показатели качества воды после очистки представлены в таблице 4.

Данные предоставлены местной лабораторией Златоустовского водоканала.

Таблица 4 – Показатели качества воды до и после очистки на период 2019 г.

№ п/п	Определяемые ингредиенты	Единица измерения	Показатели исходной воды	Показатели воды после очистки	СанПиН 2.1.4.1074-01
1	2	3	4	5	6
1.	Температура	град.	20		
2.	Запах	балл	2	2	Не более 2-3
3.	Цветность	градус	37,8	13,30	Не более 20
4.	Мутность	ЕМФ	6,64	1,41	2,6–3,5
5.	Ph	Ед. рН	6,96	6,83	6–9
6.	Щёлочность	мг-экв/дм ³	0,41	0,43	–
7.	Окисляемость перманг.	мг/дм ³	4,45	3,63	5-7
8.	Хлориды	мг/дм ³	3,35	4,81	350
9.	Железо (общее)	мг/дм ³	0,21	0,27	0,3
10.	Сухой остаток	г/дм ³	48,5	55,75	1000-1500
11.	Жёсткость общая	°Ж	0,52	0,61	7-10
12.	Кальций	мг/дм ³	5,20	6,09	–
13.	Фенол	мг/дм ³	<0,0005	<0,0005	0,25
14.	Сульфаты	мг/дм ³	15,03	15,56	500
15.	Марганец	мг/дм ³	0,084	0,08	0,1
16.	Цинк	мг/дм ³	<0,0005	<0,0005	1,0
17.	Свинец	мг/дм ³	<0,0002	<0,0002	0,01
18.	Кадмий	мг/дм ³	<0,0002	<0,0002	0,001
19.	Медь	мг/дм ³	<0,0006	<0,0006	1,0
20.	Хром б ⁺	мг/дм ³	<0,02	0,031	0,05
21.	Фтор	мг/дм ³	0,09		
22.	Полифосфаты	мг/дм ³	<0,01	<0,01	3,5
23.	АПАВ	мг/дм ³	0,009	0,016	0,1
24.	Нефтепродукты	мг/дм ³	0,003	<0,0023	0,1
25.	Никель	мг/дм ³	<0,01	<0,01	0,02

Продолжение таблицы 4

26.	Молибден	мг/дм ³	<0,025	<0,025	0,25
27.	Бор	мг/дм ³	<0,05	<0,05	0,5
28.	Фенол	мг/дм ³	<0,0005	<0,0005	0,25
29.	Аммиак	мг/дм ³	0,078	<0,0005	>1,5
30.	Нитриты	мг/дм ³	<0,003	<0,003	>3,3
31.	Нитраты	мг/дм ³	0,52	0,45	45
32.	Бериллий	мг/дм ³	0,00016	<0,00012	0,002
33.	Селен	мг/дм ³	<0,0001	<0,0001	0,1
34.	Растворимый O ₂ /БПК ₂₀	мг/дм ³	9,79/1,24	–	–
35.	ОКБ (общие колиформные бактерии)	КОЕ/300 мл	2,98	Не обнаружено	Отсутствие
36.	ТКБ (Термотолерантные колиформные бактерии)	КОЕ/300 мл	2,55	Не обнаружено	Отсутствие
37.	ОМЧ (Общее микробное число)	КОЕ/1 мл	4,19	0,05	100

Окончание таблицы 4

2.4 Анализ существующей схемы очистки воды

I система очистки

Смеситель-распределитель

На НФС установлен ж/бетонный смеситель-распределитель D-1,5 м, высотой 6 м. ёмкостью 10 м³ с ж/бетонными лотками отвода воды в камеру реакции №1 и камеру реакции №2.

Камеры реакции

Установленные на НФС вертикальные отстойники выполняют функцию камер реакции и предназначены, как и смеситель-распределитель для очистки воды реагентным методом контактной коагуляции.

Двухпоточные фильтры

В основу конструктивного решения двухпоточных фильтров положен принцип двухстороннего фильтрования воды с отводом фильтрата щелевой дренажной системой из а/ц труб, расположенной в толще фильтрующего слоя. Часть обрабатываемой воды фильтруется сверху вниз через верхний слой загрузки, основная же масса воды фильтруется снизу вверх, через нижний слой. Наличие двухстороннего движения воды обеспечивает статическую устойчивость фильтрующего слоя.

Фильтр АКХ промывается в основном через нижний дренаж и дополнительно через дренаж, расположенный в теле фильтра. Отвод промывной воды из фильтра осуществляется как на обычном скором фильтре.

Из-за кальмотации верхнего слоя фильтрующей загрузки к концу фильтроцикла скорость фильтрования через нижний дренаж достигает 80% суммарной скорости. Для открытых самотечных фильтров АКХ расчётная скорость фильтрования принимается не более 12 м/ч. Во время ремонта или промывки одного из фильтров, а также при форсированной работе станции допускается увеличение скорости фильтрования до 15 м/ч.

Фильтры загружены отмытым кварцевым песком и гравием разных фракций для поддерживающего слоя [15].

II система очистки

Барабанные сетки

На Тесьминской НФС установлено 3 барабанные сетки: две в работе, одна в резерве. Барабанные сетки предназначены для удаления из воды крупных плавающих и взвешенных примесей.

Микрофильтры

На второй системе очистки установлено 4 микрофильтра марки МФ 1,5х3, предназначены для удаления из воды крупных плавающих и взвешенных примесей и планктона.

Контактные осветлители

На Тесьминской НФС почти построены 12 контактных осветлители типа КО-1 без поддерживающих слоёв.

На сегодняшний день, вторая система очистки не работает, используется в качестве запасной [13].

3 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ НАСОСНО-ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ СТАНЦИИ

В ходе мониторинга работы очистных сооружений вод Тесьминского водохранилища города Златоуста были выявлены существенные недостатки:

- значительное превышение фактической нагрузки на очистные сооружения над проектной;
- коагулирование не осуществляется;
- использование устаревшего типа отстойника;
- использование нежелательной для малых городов технологии обеззараживания вод газообразным хлором;
- высокий износ оборудования.

Сооружения водоподготовки НФС нуждаются в реконструкции.

В связи с этим предложен вариант возможной модернизации очистных сооружений на основе лабораторных исследований, проведенных в лаборатории ЮУрГУ. Результаты приведены в таблице 5. Пробы были взяты 14.03.2020 года с 4-х контрольных точек:

1. Вода из водохранилища
2. Вода после отстойника
3. Резервуар чистой воды
4. Вода из крана

Таблица 5 – Пробы воды с четырех контрольных точек

Показатели/точки отбора	1	2	3	4	СанПиН
Мутность мг/л	0,55	0,21	н/о	н/о	2,6–3,5
Цветность °	53°	53°	44°	46°	Не более 20°
рН	7,21	7,16	7,12	7,06	6–9
Жесткость мг/л	0,7	0,7	0,7	0,7	7–10
Солесодержание мг/л	38	35	35	35	Не более 1000
Железо мг/л	0	0	0	0	Менее 0,3
Окисляемость мг/л	3,0	3,0	1,9	1,9	5–7

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что существующая технологическая схема водоочистки не соответствует нормам СанПиН 2.1.4.1074-0. По результатам анализов можно сказать, что процесс коагулирования – не выполняется [1].

При модернизации должна быть решена задача по очистке воды от загрязнений, которые установлены на данный момент и нуждаются в удалении, так как процесса коагуляции на станции водоподготовки отсутствует.

В связи с этим предложен вариант возможной реконструкции очистных сооружений:

1) *Установка автоматизированной системы дозирования коагулянта.*

Предназначена для точного и непрерывного дозирования раствора коагулянта [11].

2) *Замена вертикального отстойника на горизонтальный*

Наилучшим типом следует считать горизонтальный отстойник, в котором гидродинамические условия выпадения взвеси более выгодны, чем в вертикальном отстойнике. Основным преимуществом горизонтальных отстойников являются: маленькая глубина, хороший эффект очистки, возможность использования одного сгребающего устройства для нескольких отделений [15].

3) *Замена фильтрующей загрузки на новую.*

Для повышения производительности требуемой величины, нужно увеличить однородность фильтрующей загрузки.

Это повышает эффективность промывки, а также расход промывной воды значительно снижается. Исходя из этого, стоит выбрать новую загрузку фильтра с более развитой поверхностью чем у песка. Например: дробленый керамзит, шунгизит, гранодиорит, вулканические шлаки [11].

4) *Замена газообразного хлора на гипохлорит натрия (NaOCl).*

В течение последних лет на станциях водоподготовки России и других стран осуществляется замена сжиженного хлора для обеззараживания воды на другие равноценные методы, использование которых технически более просто и безопасно. Это обусловлено высокой опасностью сжиженного хлора, поставляемого на водопроводные станции в баллонах или контейнерах.

Переход на обеззараживание воды другими реагентами, привозными или получаемыми непосредственно на месте потребления, позволяет исключить из состава водопроводных станций источник опасности, который в случае аварии способен поражать не только обслуживающий персонал, но и население прилегающей к водоочистой станции территории. Одним из перспективным способом обеззараживания вод на станциях водоподготовки является обработка раствором электролитического гипохлорита натрия.

Основными достоинствами технологии обеззараживания воды гипохлоритом натрия является безопасность её применения и значительное уменьшение воздействия на окружающую среду по сравнению с жидким хлором. Предлагаемый метод отличается высокой степенью экологической и промышленной безопасности, не требует создания системы нейтрализации аварийных выбросов, мероприятий по охране окружающей среды и защите обслуживающего персонала. Исключается контроль над сосудами, работающими под давлением.

Гипохлорит натрия, вырабатываемый электролизом водного раствора поваренной соли, относится к малоопасным веществам [15].

4 ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТЫ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ

4.1 Реагентное хозяйство

На основе проведенных лабораторных исследований в лаборатории ЮУрГУ, мы определили оптимальную дозу коагулянта, при которой происходит снижение цветности до нужных значений.

Ход работы:

1) В 3 мерных цилиндра объемом 0,5л наливали исследуемую воду до метки, затем в цилиндры добавляли различное количество миллилитров раствора оксида алюминия (Al_2O_3), из расчета полученных доз в диапазоне, охватывающем предполагаемую оптимальную дозу.

2) Содержимое во всех цилиндрах смешивали быстрым вращением палочки в течение 15–20 сек, затем в течение 3–5 мин пробу медленно перемешивали той же палочкой и оставляли для отстаивания, наблюдая за процессами образования хлопьев и их осаждения.

3) Затем в этой же пробе определили цветность. По полученным данным определяем наименьшую (оптимальную) дозу оксида алюминия, снизившую мутность и цветность до требуемых пределов. Результаты представлены в таблицах 7, 8, 10, 11 [16].

Данные, на основе которых проводились исследования, представлены в таблице 6, пробоотбор был произведен 20.02.20 г.

Таблица 6 – Пробы воды с двух контрольных точек

Наименование	После отстойника	РЧВ
Жесткость _{общ}	0,5 мг·экв/л	0,6 мг·экв/л
Жесткость _{Са}	0,3 мг·экв/л	0,3 мг·экв/л
Щелочность	0,5 мг·экв/л	0,6 мг·экв/л
рН	7,3	6,8
Цветность	54°	43,6°
Мутность	н/о	н/о
Fe	н/о	н/о

Коагуляцию проводили после отстойника.

Расчет дозы коагулянта определяется по формуле (1):

$$D = 4\sqrt{Ц}, \quad (1)$$

где, Ц – цветность обрабатываемой воды в градусах платино-кобальтовой шкалы.

$$D = 4\sqrt{54} = 29,6 : 3,4 = 8,7 \frac{\text{мг}}{\text{л}} Al_2O_3 \quad (1)$$

$$D_k = 4\sqrt{54} = 29,5 \quad (1)$$

Доза известкования определяется по формуле (2):

$$D_{щ} = K_{щ}(D_k/e_k - Щ_0) + 1, \quad (2)$$

где D_k – максимальная в период подщелачивания доза безводного коагулянта, мг/л;

e_k – эквивалентная масса коагулянта (безводного), мг/мг-экв, принимаемая для $Al_2(SO_4)_3 = 57$

$K_{щ}$ – коэффициент, равный для извести (по CaO) – 28

$Щ_0$ – минимальная щелочность воды, мг-экв/л.

$$D_{щ} = 28 (30/57 - 0,5) + 1 = 1,7 \text{ мг/л} \quad (2)$$

Таблица 7 – Результаты лабораторных исследований

Показатели	Доза реагента		
	$D_{Al_2O_3}$	9 (0,45 мл)	11 (0,55 мл)
$D_{изв}$	1,7 (0,06 мл)	5,7 (0,2 мл)	8,6 (0,33 мл)
Цветность	13°	11°	11°
Щелочность	0,3	0,2	0,2

Вывод: все дозы снизили цветность одинаково.

Пробуем меньшие дозы

$$D_{щ} = 28 (24/57 - 0,5) + 1 = - 1,22 \text{ мг/л},$$

следовательно, подщелачивание воды не требуется.

Таблица 8 – Результаты лабораторных исследований с меньшими дозами

Показатели	Доза реагента	
	$D_{Al_2O_3}$	7 мг/л
$D_{изв}$	0,28 мл	0,2 мл
Цветность	8°	12°

Повторный проотбор для проведения дальнейших исследований проводился 26.02.20 г, данные представлены ниже в таблице 9.

Таблица 9 – Показатели качества исходной воды

Мутность	0,5 мг/л
Цветность	53°
pH	7,3
Щелочность	0,4 мг·экв/л

Вычислим повторно дозу коагулянта:

$$D = 4\sqrt{53} = 29 : 3,4 = 8,6 \frac{\text{мг}}{\text{л}} Al_2O_3 \quad (1)$$

$$D_{\text{по}} \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 29 \text{ мг/л (1)}$$

$$D_{\text{щ}} = 28 (29/57 - 0,4) + 1 = 4 \text{ мг/л (2)}$$

Таблица 10 – Результаты лабораторных исследований

Показатели	Доза реагента		
	$D_{\text{Al}_2\text{O}_3}$	4	6
$V_{1\%/500}$	0,2	0,3	0,5
Цветность	11	13	15

Пробуем наименьшие дозы, для более точного вывода.

Таблица 11 – Результаты лабораторных исследований с наименьшими дозами коагулянта

Показатели	Доза реагента		
	$D_{\text{Al}_2\text{O}_3}$	1,4	2
$V_{1\%/500}$	0,05	0,1	0,15
Цветность	52	52	28

Вывод: В ходе проведенных лабораторных исследований выяснили, что наилучший эффект показала доза сульфата алюминия ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ – 4 мг/л, дальнейшее увеличение дозы коагулянта не приводит к снижению цветности. Также пробное коагулирование показало, что доза 4 мг/л позволяет обойтись без дополнительного подщелачивания воды.

4.2 Расчет расходы дозы коагулянта нормативные и фактические

При проведении лабораторных исследований, была выявлена доза коагулянта равная 4мг/л, но для того, чтобы рассчитать точную дозу, необходимую к применению на данной насосно-фильтровальной станции, требуются дополнительные исследования на самой станции.

В данном разделе рассчитана доза коагулянта, по фактическому расходу станции на данный момент.

Исходные данные:

$$Q_{\text{сут}} = 45 \text{ тыс. м}^3/\text{сут};$$

$$M = 1 \text{ мг/л};$$

$$Ц = 53 \text{ град};$$

Необходимые дозы коагулянта должны назначаться в соответствии с данными технологического анализа воды. Действующие нормы предлагают принимать дозу безводного сернокислого алюминия или хлорного железа в зависимости от содержания в воде взвешенных веществ.

При мутности до 100 мг/л (в проекте рассматривается вода с мутностью до 1) рекомендованная доза безводного сернокислого алюминия – 25-35 мг/л.

При обработке вод, имеющих высокую цветность, производится проверка достаточности дозы коагулянта для обесцвечивания воды по формуле (1)

$$D_k = 4\sqrt{C}, \text{ мг/л.}$$
$$D_k = 4\sqrt{53} = 29 \text{ мг/л.}$$

С учетом цветности допустимой дозой безводного коагулянта будет 29 мг/л.

4.2.1 Расчет установки для приготовления раствора коагулянта

Выбор емкостей и оборудования реакгентного хозяйства определяется условиями работы при максимальных дозах реагентов. Доза коагулянта при наиболее высокой мутности воды в реке принята в пересчете на безводный продукт $Al_2(SO_4)_3$ равной 29 мг/л [3].

Приготовление раствора реагента осуществляется в растворных и расходных баках. Для интенсификации растворения предусматривают перемешивание сжатым воздухом.

Определим необходимое количество коагулянта в виде безводной соли по формуле:

$$M_k = D_k \cdot Q_{\text{ч}},$$

где D_k – доза коагулянта, $D_k = 29$ мг/л;

$Q_{\text{ч}}$ – часовой расход очистной станции, $Q_{\text{ч}} = 1818$ м³/ч.

$$M_k = 0,029 \cdot 1818 = 52,72 \text{ кг/ч.}$$

Определим количество воды, необходимое для приготовления 15 % (п.6.21[1]) раствора $Al_2(SO_4)_3$ по формуле:

$$M_{H_2O} = \frac{M_k \cdot (100 - 15)}{15}.$$
$$M_{H_2O} = \frac{52,72 \cdot (100 - 15)}{15} = 298,7 \text{ кг/ч.}$$

Принимаем время полного цикла приготовления раствора $Al_2(SO_4)_3$ равным 10 часов (п. 6.22 [3]), тогда масса коагулянта по безводному продукту, необходимая для непрерывного дозирования за период приготовления раствора, составит:

$$M_k^T = M_k \cdot T,$$

где T – время приготовления раствора, $T = 10$ ч;

$$M_k^T = 52,72 \cdot 10 = 527,2 \text{ кг.}$$

Определим массу коагулянта по водному раствору, т.е. с учетом воды, находящейся в коагулянте:

$$M'_K = M_K^T \cdot \frac{666}{342},$$

где 666 – молекулярный вес $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$;

342 – молекулярный вес соли без воды $Al_2(SO_4)_3$;

$$M'_K = 527,2 \cdot \frac{666}{342} = 1026,6 \text{ кг.}$$

Определим процентное содержание примесей (P) в товарном продукте:

$$P = \frac{666}{102} \cdot 14 = 91 \%,$$

где 102 – вес оксида алюминия Al_2O_3 ;

14 % – содержание активного вещества в очищенном кусковом продукте.

Определим массу товарного продукта реагента с учетом содержания в нем воды и примесей по формуле:

$$M_K^{TOB} = \frac{M'_K \cdot 100\%}{P},$$
$$M_K^{TOB} = \frac{1026,6 \cdot 100\%}{91\%} = 1128,2 \text{ кг.}$$

Определим массу воды для приготовления 6 % раствора коагулянта в течение 10 часов:

$$M'_{H_2O} = M_{H_2O} \cdot T,$$
$$M'_{H_2O} = 298,7 \cdot 10 = 2987 \text{ кг.}$$

Определим количество воды, содержащейся в товарном продукте:

$$M_{H_2O}^{TOB} = \frac{M_K^{TOB} \cdot 324}{666},$$

где 324 – молекулярный вес $18H_2O$. Следовательно:

$$M_{H_2O}^{TOB} = \frac{1128,2 \cdot 324}{666} = 548,85 \text{ кг.}$$

Определим количество воды, которое необходимо добавить в растворный бак для приготовления 15 %-го раствора:

$$M''_{\text{H}_2\text{O}} = M'_{\text{H}_2\text{O}} - M_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{ТОВ}},$$

$$M''_{\text{H}_2\text{O}} = 2987 - 548,85 = 2438,15 \text{ кг.}$$

Определим массу раствора по формуле:

$$M_{\text{р-ра}} = M_{\text{к}}^{\text{ТОВ}} + M''_{\text{H}_2\text{O}},$$

$$M_{\text{р-ра}} = 1128,2 + 2438,15 = 3566,35.$$

Определим объем раствора, равный рабочему объему растворного бака:

$$W_{\text{р-ра}} = W_{\text{раб}} = \frac{M_{\text{р-ра}}}{\rho_{\text{р-ра}}},$$

где $\rho_{\text{р-ра}}$ – плотность раствора коагулянта при температуре 15 °С. Для 15 % раствора $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ $\rho_{\text{р-ра}} = 1,166 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$;

$$W_{\text{раб}} = \frac{3566,35}{1,166 \cdot 10^3} = 3,06 \text{ м}^3.$$

Фактический объем растворного бака:

$$W_{\text{общ}} = W_{\text{раб}} + W_{\text{доп}},$$

где $W_{\text{доп}}$ – дополнительный объем, м^3 , равный 10% рабочего объема, т.е.

$$W_{\text{доп}} = 10\% \cdot W_{\text{раб}} = 0,306 \text{ м}^3.$$

$$W_{\text{общ}} = 3,06 + 0,306 = 3,366 \text{ м}^3.$$

Принимаем 1 растворный бак объемом 4 м^3 , высотой 1 м размерами в плане 2м×2м. Резервные баки можно установить так как площадь нфс позволяет [3].

Объем расходного бака определим с учетом 6 %-ной концентрации раствора в расходном баке:

$$W_{\text{расх}} = \frac{W_{\text{общ}} \cdot \beta'}{\beta}$$

где β' – концентрация раствора в растворном баке, равная 15 %;

β – концентрация раствора в расходном баке, равная 6 %;

$$W_{\text{расх}} = \frac{3,366 \cdot 15}{6} = 8,41 \text{ м}^3.$$

Принимаем 1 расходный бак емкостью 9 м³, высотой 1 м размерами 3×3 м.

Растворные баки в нижней части проектируются с наклонными стенками под углом 45° к горизонтали. Для опорожнения баков и сброса осадка предусматриваются трубопроводы диаметром 150 мм.

Днища расходных баков имеют уклон 0,01 к сбросному трубопроводу диаметром 100 мм.

4.2.2 Расчет дозы извести для подщелачивания воды

При излишней щелочности переход гидроокиси в водную окись может задерживаться. При недостаточной щелочности реакция образования гидроокиси из сернокислого алюминия протекать не будет. В этом случае нужно искусственно подщелачивать воду гашеной известью Ca(OH)₂, едким натром NaOH или кальцинированной содой Na₂CO₃, добавляемыми в необходимом количестве. Доза извести для подщелачивания воды рассчитывается согласно СНиП 2.04.02–84, п. 6.19 [2]:

$$D_{\text{щ}} = K \cdot \left(\frac{D_{\text{к}}}{e} - \text{Щ}_0 + 1 \right), \text{ мг/л,}$$

где $D_{\text{щ}}$ – количество извести, добавляемой для подщелачивания воды, мг/л;

$D_{\text{к}}$ – максимальная в период подщелачивания доза безводного коагулянта;

e – эквивалентная масса коагулянта (безводного), для Al₂(SO₄)₃,

$e = 57 \text{ мг/мг} - \text{экв};$

K – коэффициент, равный для извести (по CaO) – 28;

Щ_0 – минимальная щелочность воды; $\text{Щ}_0 = 1,2 \text{ мг} - \text{экв/л.}$

$$D_{\text{щ}} = 28 \cdot \left(\frac{30}{57} - 0,5 + 1 \right) = 1,7 \text{ мг/л}$$

Суточный расход извести (в пересчете на CaO) равен:

$$Q_{\text{и}} = \frac{D_{\text{щ}} \cdot Q_{\text{рас}}}{1000 \cdot 1000} \text{ т/сутки.}$$

$$Q_{\text{и}} = \frac{1,7 \cdot 43674}{1000 \cdot 1000} = 0,074 \text{ т/сутки.}$$

Суточный расход 5 % известкового молока:

$$\frac{0,074 \cdot 100}{5 \cdot 1} = 1,48 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

4.3 Расчет горизонтального отстойника

Принимаем $u_0 = 0,5$ мм/сек и тогда, задаваясь отношением $L/H = 15$, по табл. находим: $\alpha = 1,5$ и $v_{cp} = 5$ мм/сек, $u = 5$ мм/сек.

Площадь всех отстойников в плане

$$F_{\text{общ}} = \frac{\alpha Q_{\text{час}}}{3,6u_0} = \frac{1,5 * 1250}{3,6 * 0,5} = 1041 \text{ м}^2$$

Глубину зоны осаждения в соответствии с высотной схемой станции принимаем $H = 3,5$ м (рекомендуется $H = 2,5 - 3,5$ м). Расчетное количество одновременно действующих отстойников $N = 2$.

Тогда ширина отстойника

$$B = \frac{Q_{\text{час}}}{3,6v_{cp}HN} = \frac{1250}{3,6 * 5 * 2,6 * 2} = 13 \text{ м}$$

Внутри каждого отстойника устанавливают две продольные вертикальные перегородки, образующие три параллельных коридора шириной по 4,5 м каждый.

Длина отстойника

$$L = \frac{F_{\text{общ}}}{B \cdot N} = 40 \text{ м.}$$

При этом отношении $\frac{L}{H} = \frac{40}{3,5} \approx 15$, т. е. отвечает данным табл.

В начале и в конце отстойника устанавливают поперечные водораспределительные дырчатые перегородки.

Рабочая площадь такой распределительной перегородки в каждом коридоре отстойника шириной $b_k = 3$ м

$$f_{\text{раб}} = b_k(H - 0,3) = 3(3,5 - 0,3) \approx 9,6 \text{ м}^2.$$

Расчётный расход воды для каждого из 10 коридоров

$$q_k = Q_{\text{час}} : 18 = 1250 : 10 = 125 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,03 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Необходимая площадь отверстий в распределительных перегородках:

а) в начале отстойника $\sum f' = q_k : v'_0 = 0,03 : 0,3 = 0,09 \text{ м}^2$ (где v'_0 – скорость движения воды в отверстиях перегородки, равная 0,3 м/сек);

б) в конце отстойника $\sum f'' = q_k : v''_0 = 0,03 : 0,5 = 0,05 \text{ м}^2$ (где v''_0 – скорость движения воды в отверстиях перегородки, равная 0,5 м/сек).

Принимает в передней перегородке отверстия $d_1 = 0,05$ м площадью $f'_0 = 0,00196 \text{ м}^2$ каждое, тогда количество отверстий в перегородке $n'_0 = 0,09 :$

$0,00196 \approx 46$. В концевой перегородке отверстия приняты диаметр $d_2 = 0,04$ м площадью $f_0'' = 0,00126$ м² каждое, тогда количество отверстий в перегородке $n_0'' = 0,05 : 0,00126 \approx 40$.

Периодическое удаление осадка из отстойника.

Средняя концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей в отстойник за период между чистками:

$$C_{\text{ср}} = M + K D_{\text{к}} + 0,25 \text{Ц} + (1 - 0,4) D_{\text{и}} = 48 + 0,55 \cdot 29 + 0,25 \cdot 53 + (1 - 0,4) \cdot 1 = 78,2 \text{ мг/л},$$

где M – количество взвешенных веществ в исходной воде в г/м³;

K – переводной коэффициент, равный 0,55;

$D_{\text{к}}$ – доза коагулянта в пересчёте на безводный продукт в г/м³;

Ц – цветность воды в град;

$D_{\text{и}}$ – доза извести в мг/л.

Процент задержания взвеси отстойником:

$$p = \frac{C_{\text{ср}} - m}{C_{\text{ср}}} = \frac{78,2 - 9,5}{78,2} = 87,4\%.$$

Необходимый объем зоны накопления и уплотнения осадка:

$$W_{\text{з.н}} = \frac{24 Q_{\text{ч}} (C_{\text{ср}} - m)}{N \delta} T = \frac{24 \cdot 1818 \cdot (78,2 - 9,5)}{2 \cdot 30\,000} \cdot 10 = 343,5 \text{ м}^3,$$

где $Q_{\text{ч}}$ – расчётный расход воды в м³/ч;

$C_{\text{ср}}$ – средняя концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей в отстойник за период между чистками, в г/м³;

m – количество взвеси в воде, выходящей из отстойника мг/л;

δ – средняя концентрация осадка в г/м³ после уплотнения в течении 24 ч, равная при $C_{\text{ср}} < 100$ мг/л $30\,000$ г/м³;

T – продолжительность действия отстойника между чистками в сутках.

Средняя высота этой зоны при площади отстойника $F_{\text{отс}} = F_{\text{общ}} : 2 = 1041 : 2 = 520$ м²: $h_{\text{з.н}} = W_{\text{з.н}} : F_{\text{отс}} = 343 : 520 = 0,6$ м.

Средняя глубина отстойника: $H = 3,5 + 0,6 = 4,1$ м.

Общая длина отстойника с учетом распределительных отделений $L_{\text{отс}} = 52,50 + 2 \cdot 1,5 = 55,50$ м.

Объем одного отстойника $W = L_{\text{отс}} B H = 41 \cdot 4,8 \cdot 4,1 = 2185$ м³.

Процент воды, расходуемый при периодическом сбросе осадка:

$$q_{\text{ос}} = \frac{K_p \cdot W \cdot 100}{24(Q_{\text{ч}} : N)T} = \frac{1,3 \cdot 3283 \cdot 100}{24 \cdot (1818 : 2) \cdot 10} = 1,95\% \text{ (909 м}^3 \text{/сут)}.$$

4.3.1 Камера хлопьеобразования

Принимаем встроенные камеры хлопьеобразования со взвешенным осадком.

На один отстойник принимаем одну камеру хлопьеобразования.

Площадь (в плане) всех камер хлопьеобразования

$$\sum F_k = \frac{Q_{\text{час}}}{3600v} = \frac{1818}{3600 \cdot 0,001} = 505 \text{ м}^2,$$

где v – скорость восходящего потока воды в верхнем сечении камеры хлопьеобразования.

Площадь одной КХО: $F_k = 505 : 2 = 252,5 \text{ м}^3$.

При ширине камеры $b_k = 13,52 \text{ м}$ (равной ширине отстойника) длина камеры:

$$l_k = F_k : b_k = 252,2 : 14,43 = 17,5 \text{ м}.$$

Высоту камеры принимаем равной высоте отстойника с учетом потерь напора в камере $h_k = h_{\text{отс}} + h_{\text{п}} = 4,1 + 0,1 = 4,2 \text{ м}$.

Время пребывания воды в камере

$$t = \frac{h_k}{60v} = \frac{4,2}{60 \cdot 0,001} = 70 \text{ мин},$$

что соответствует данным СНиП ($t > 20$ мин).

Расход воды, приходящейся на каждую камеру:

$$q_k = \frac{Q_{\text{час}} \cdot 1000}{N \cdot 3600} = \frac{1818 \cdot 1000}{2 \cdot 3600} = 252,5 \text{ л/сек}.$$

Распределение воды по площади камеры предусмотрено при помощи перфорированных труб с отверстиями, направленными горизонтально. В каждой камере размещают четыре перфорированные трубы на расстоянии не более 3 м.

Расход воды по каждой трубе:

$$q_{\text{тр}} = q_k : n = 252,5 : 4 = 63,1 \text{ л/сек}.$$

Принимаем трубы $D = 350 \text{ мм}$ при скорости движения воды $v = 0,5 \text{ м/сек}$. Площадь отверстий диаметром 15 – 25 мм в стенках перфорированной распределительной трубы составляет 30 – 40 % площади ее поперечного сечения

$$\sum f_{\text{отв}} = 0,4 \frac{\pi D^2}{4} = 0,4 \frac{\pi \cdot 0,35^2}{4} = 0,04 \text{ м}^2.$$

Принимаем отверстия $d_0 = 25 \text{ мм}$ площадью $f_0 = 0,000491 \text{ м}^2$.

Необходимое количество отверстий в каждой трубе:

$$n = 0,04 : 0,000491 = 82.$$

Отверстия располагаем в два ряда с шагом:

$$e_0 = l_k : n = 17500 : 82 = 213 \text{ мм}.$$

Из камеры в горизонтальный отстойник воду отводят над затопленным водосливом. Верх стенки водослива располагают ниже уровня воды в отстойнике на величину:

$$h_{\text{в}} = \frac{q_k}{b_k v_{\text{в}}} = \frac{0,2521}{14,43 \cdot 0,05} = 0,35 \text{ м},$$

где $v_{\text{в}}$ – скорость движения воды через водослив, равная 0,05 м/сек.

За стенкой водослива устанавливают подвесную перегородку, погруженную на 0,25 – 0,33 высоты отстойника, чтобы отклонять поток воды книзу. Скорость воды между стенкой водослива и перегородкой не более 0,03 м/сек.

4.4 Замена фильтрующей загрузки фильтра

Восстановление проектной высоты и крупности зерен фильтрующей загрузки на всех фильтрах, считается важным действием по эксплуатации скорых фильтров, так как в результате многолетней работы, скорые фильтры имеют недостаточную высоту зернистого фильтрующего слоя, состоящего из зерен повышенной крупности.

Эксплуатация аналогичных скорых фильтров вызывает не только понижение производительности очистки воды, но и ухудшение их промывки вследствие слабого расширения фильтрующего слоя при промывках и плохого удаления отмываемых загрязнений из надфильтровального пространства, что в первую очередь, приводит к накоплению слоя отложений на плоскости фильтрующей загрузки, увеличению темпа прироста потери напора и снижению продолжительности фильтроцикла.

Для увеличения (по возможности) однородности зерен фильтрующей загрузки действующим СНиП разрешается использование для загрузки скорых фильтров зернистых фильтрующих материалов с коэффициентом неоднородности больше 2. Но также, для скорых фильтров лучше использовать однородные зернистые материалы. Это разрешает увеличить эффективность промывки и значительно снижает расход промывной воды.

В настоящее время, ряд предприятий, выпускают качественный однородный фильтрующий материал с коэффициентом однородности 1,5-1,6 при крупности зерен в пределах от 0,63 до 1,25мм.

Этот зернистый материал может действительно применяться в скорых фильтрах с высотой слоя, равной от (0,7–0,8) до (1,2–1,3) м.

Применение для загрузки фильтров разнообразные фильтрующие материалы, разрешенные к использованию Минздравом РФ, с большей развитой чем у песка, поверхностью: дробленый керамзит, шунгизит, гранодиорит, вулканические шлаки и множество других материалов. Это позволит значительно интенсифицировать работу фильтровальных сооружений, и снизить дефицит в кварцевом песке, за счет применения местных материалов и значительно уменьшить транспортные затраты за доставку на объект. Использование зернистых материалов с развитой поверхностью зерен, позволяет увеличить производительность на 30-50% [16].

4.5 Замена газообразного хлора на гипохлорит натрия (NaClO)

Хлорирование проводят рабочим раствором 8 % NaClO (90 г/л активного хлора).

Товарный продукт 15 % NaClO (190 г/л активного хлора).

$$D_{\text{акт хлора}} = 1 \text{ мг/л}$$

Расход NaClO рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{ГПХН}} = \frac{Q_{\text{час}} \cdot D_{\text{ГПХН}}}{C_{\text{Хл}}} = \frac{1818 \cdot 1}{90 \cdot 1000} = 0,0202 \text{ м}^3/\text{ч} = 480 \text{ л/сут},$$

где $C_{\text{Хл}} = 90 \text{ г/л}$.

Гипохлорит натрия хранят в полиэтиленовых бочках объёмом 100 л [3].

Для обеспечения 7- суточного потребления гипохлорита натрия необходимо:

$$m_{\text{ГПХН}}^{7\text{сут}} = 480 \cdot 7 = 3360 \text{ л}$$

$$n_{\text{емк}}^{7\text{сут}} = \frac{3360}{100} = 34 \text{ бочки или 5 бочек в сутки.}$$

Рассчитаем, сколько необходимо товарного раствора NaClO для приготовления 100 л рабочего раствора натрия рассчитывается по формуле:

$$m_{8\%} = V_{8\%} \cdot \rho_{8\%} = 100 \cdot 1053,8 = 105380 \text{ г.}$$

Масса хлора в растворе определяется по формуле:

$$m_{\text{Cl}_2} = \frac{m_{8\%} \cdot 8\%}{100\%} = \frac{105380 \cdot 8\%}{100\%} = 8430,4 \text{ г.}$$

Такое же количество хлора должно содержаться в товарном растворе.

Масса товарного раствора гипохлорита натрия рассчитывается по формуле:

$$m_{15\%} = \frac{m_{\text{Cl}_2} \cdot 100\%}{15\%} = \frac{8430,4 \cdot 100\%}{15\%} = 56202,7 \text{ г.}$$

Объём товарного раствора гипохлорита натрия рассчитывается по формуле:

$$V_{15\%} = \frac{m_{15\%}}{\rho_{15\%}} = \frac{56202,7}{1097,7} = 51,2 \text{ л.}$$

Суточный расход гипохлорита натрия составит 228 л/сут.

Товарный реагент доставляется автомобильным транспортом. Из транспортной тары реагент подается в приемную емкость, откуда насосами перекачивается в расходные емкости. В ходе перекачки гипохлорит натрия разбавляется водой до рабочей концентрации 90 г/л по активному хлору. Это разбавление необходимо для снижения интенсивности разложения гипохлорита натрия в процессе получения рабочего раствора заданной концентрации, оптимальной для его хранения [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проекта, были изучены существующие положения о качестве воды и требования к процессу водоподготовки. Провел исследования по всем стадиям существующего положения насосно-фильтровальной станции, выявили недостатки данной схемы.

Были выполнены лабораторные исследования, в ходе которых, удалось выявить оптимальную дозу коагулянта, для осветления маломутных, высокоцветных вод, на данной станции водоподготовки. Предложены решения к основным задачам модернизации, с учетом безостановочности процесса. Предложили и рассчитали автоматизированную систему ввода коагулянта. Был произведен расчет горизонтального отстойника со встроенной камерой хлопьеобразования. Заменяли загрузку скорых фильтров на новую. Заменяли обеззараживание воды жидким хлором на более безопасное вещество, гипохлорит натрия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества», М.: Минздрав России, 2001 г.
2. СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения», Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 (с Изменениями N 1, 2, 3), М.: Минстрой России, 2012 г.
3. Кожин, В.Ф. Очистка питьевой и технической воды: учебное пособие / В.Ф. Кожин. – Минск: Изд-во "Высшая школа А", 2007. – 300 с.
4. Камалиева, А.Р. Комплексная оценка качества алюмо- и железосодержащих реагентов для очистки воды/ А.Р. Камалиева, И.Д. Сорокина, А.Ф. Дресвянников// Вода: химия и экология. – 2014. – № 2. – С. 78-84.
5. В. И. Нарыков. Гигиена водоснабжения: уч. пособие / В. И. Нарыков, Ю. В. Лизунов, М. А. Бокарев. – СПб.: СпецЛит, 2011. – 120 с.
6. Хохрякова, Е.А. Современные методы обеззараживания воды / Е.А. Хохрякова. – М.: Изд-во «Аква-Терм», 2014. – 55 с.
7. Гледко, Ю.А. Гидрогеология [Текст]: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности "География" / Ю. А. Гледко. – Минск: Высшая школа, 2012. – 445 с.
8. Ширяев, В.А. Исследование процессов очистки воды вымораживанием в кристаллизаторе емкостного типа / В.А. Ширяев. – М.: Изд-во «Орион», 2014. – 61 с.
9. Николаенко, Е. В. Очистка природных вод [Текст]: учеб. пособие по направлению "Стр-во" / Е. В. Николаенко. – Челябинск: Издательский Центр ЮУрГУ, 2014. – 91 с.
10. Журба, М. Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений [Текст] Т. 2: Очистка и кондиционирование природных вод: учеб. пособие для вузов по специальности "Водоснабжение и водоотведение": в 3 т. / М. Г. Журба, Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 551 с.
11. Петин, А.Н. Анализ и оценка качества поверхностных вод: учебное пособие / А.Н. Петин, М.Г. Лебедева, О.В. Крымская. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2009. – 252 с.
12. Кольцов, В. Б. Очистные сооружения. В 2 ч. Ч. 2: учебник и практикум для СПО / В. Б. Кольцов, О. В. Кольцова; под ред. В.И. Каракеяна. – М.: Юрайт, 2016. – 314 с.
13. Махмудова, И.М. Улучшение качества природных вод: учебное пособие / И.М. Махмудова. – Ташкент: ТИМИ, 2013. – 110 с.
14. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: т.2., изд. 2-е, пер. и доп. Учеб. пособие. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 496 с.

15. Губонина З.И. Промышленная экология. Проблемы питьевой воды: учеб.пособ./ Губонина З.И., Владимиров С.Н. – М.: Изд-во МГОУ, 2010. – 100 с.
16. Журавлевич, Н. Е. Обеззараживание питьевой воды: метод.рекомендации / Н. Е. Журавлевич. – Минск: БГМУ, 2017 г. – 26 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1 – Требования к качеству питьевой воды [1, 2, 4]

Показатели	Единицы измерения	СанПин 2.1.4.1074–01	ВОЗ	U.S.EPA	ЕС
Водородный показатель	pH	6–9	-	6,5–8,5	6,5–8,5
Общая минерализация (сухой остаток)	мг/л	1000 (1500)	1000	500	1500
Цветность	град	20 (35)	15	20	20
Мутность ЕМФ	мг/л (по каолину)	2,6 (3,5) 1,5 (2,0)	5,0	не более 0,1	не более 0,1
Жесткость общая	мг-экв./л	7,0 (10)	500	-	1,2
Окисляемость перманганатная	мг/л	5,0	2,0	5,0	5,0
Нефтепродукты, суммарно	мг/л	0,1	-	-	-
ПАВ	мг/л	0,5	-	-	-
Фенольный индекс	мг/л	0,25	-	-	-
Щелочность	мгНСО-3/л	-	-	-	30
Фенольный индекс	мг/л	0,25	-	-	-
Алюминий (Al ³⁺)	мг/л	0,5	0,2	0,2	0,2
Азот аммонийный	мг/л	2,0	1,5	-	0,5
Барий (Ba ²⁺)	мг/л	0,1	0,7	2,0	0,1
Бериллий (Be ²⁺)	мг/л	0,0002	-	0,004	-
Бор (В, суммарно)	мг/л	0,5	0,3	-	1,0
Ванадий (V)	мг/л	0,1	0,1	-	-
Висмут (Bi)	мг/л	0,1	0,1	-	-
Железо (Fe, суммарно)	мг/л	0,3 (1,0)	0,3	0,3	0,2
Кадмий (Cd, суммарно)	мг/л	0,001	0,003	0,005	0,005
Калий (K ⁺)	мг/л	-	-	-	12,0
Кальций (Ca ²⁺)	мг/л	-	-	-	100,0
Кобальт (Co)	мг/л	0,1	-	-	-

Кремний (Si)	мг/л	10,0	-	-	-
Магний (Mg ²⁺)	мг/л	-	-	-	50,0
Марганец (Mn, суммарно)	мг/л	0,1 (0,5)	0,5 (0,1)	0,05	0,05
Медь (Cu, суммарно)	мг/л	1,0	2,0 (1,0)	1,0–1,3	2,0
Молибден (Mo, суммарно)	мг/л	0,25	0,07	-	-
Мышьяк (As, суммарно)	мг/л	0,05	0,01	0,05	0,01
Никель (Ni, суммарно)	мг/л	0,1	-	-	-
Нитраты (по NO ₃ -)	мг/л	45	50,0	44,0	50,0
Нитриты (по NO ₂ -)	мг/л	3,0	3,0	3,5	0,5
Ртуть (Hg, суммарно)	мг/л	0,0005	0,001	0,002	0,001
Свинец (Pb, суммарно)	мг/л	0,03	0,01	0,015	0,01
Селен (Se, сум.)	мг/л	0,01	0,01	0,05	0,01
Серебро (Ag ⁺)	мг/л	0,05	-	0,1	0,01
Сероводород (H ₂ S)	мг/л	0,03	0,05	-	-
Стронций (Sr ²⁺)	мг/л	7,0	-	-	-
Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	мг/л	500	250,0	250,0	250,0
Хлориды (Cl ⁻)	мг/л	350	250,0	250,0	250,0
Хром (Cr ³⁺)	мг/л	0,5	-	0,1 (всего)	-
Хром (Cr ⁶⁺)	мг/л	0,05	0,05	0,1 (всего)	0,05
Цианиды (CN ⁻)	мг/л	0,035	0,07	0,2	0,05
Цинк (Zn ²⁺)	мг/л	5,0	3,0	5,0	5,0