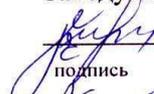


Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Г. А. Кулагина
подпись инициалы, фамилия
«26» 06 2017г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Повышение безопасности системы водоснабжения из подземных источников
на Рыбинской ЛПДС

Тема

20.04.01 «Техносферная безопасность»

код и наименование направления

20.04.01.01 «Безопасность жизнедеятельности в
техносфере»

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель


подпись, дата

канд. техн. наук

должность, ученая степень

И.В. Андруняк

инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата

В.В. Щетникова

инициалы, фамилия

Рецензент


подпись, дата

канд. техн. наук

должность, ученая степень

О.Г. Дубровская

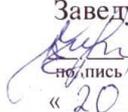
инициалы, фамилия

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
институт
Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Т.А. Кулагина

подпись инициалы, фамилия

« 20 » ИЮНЯ 2017 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
магистерской диссертации

Студенту: Щетниковой Виктории Валерьевне

Группа ФЭ 15-07М Направление (специальность) 20.04.01. «Техносфер-
ная безопасность».

Тема выпускной квалификационной работы: Повышение безопасности
системы водоснабжения из подземных источников на Рыбинской ЛПДС.

Утверждена приказом по университету: № 17003/с от 15.11.2015 г.

Руководитель ВКР: И.В. Андруняк, канд. техн. наук

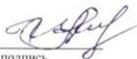
Исходные данные для ВКР: технологическая инструкция, нормативная,
справочная и другая литература.

Перечень разделов ВКР: современное состояние системы
водоснабжения и основные методы повышения ее безопасности;
характеристика Рыбинской ЛПДС; технологические аспекты подготовки воды
с учётом ее специфики; объекты и методы исследования; оценка риска
возникновения канцерогенных эффектов; расчет капитальных вложений на
модернизацию схемы водоподготовки; заключение; список использованных
источников; приложения.

Перечень графического и иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов:

- Лист 1. Применяемый и предлагаемый метод водоподготовки;
- Лист 2. Качество добываемой природной среды;
- Лист 3. Результаты экспериментальных исследований;
- Лист 4. Динамика изменения риска;
- Лист 5. Изображение предлагаемого аппаратурного оформления.

Руководитель ВКР


подпись

И.В. Андруняк
инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению


подпись, инициалы и фамилия студента

В.В. Щетникова

«20» июня 2017 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК
выполнения этапов ВКР

Сроки выполнения	Наименование и содержание этапа
01.09.2015 – 10.12.2015	Литературный обзор методов повышения безопасности системы водоснабжение.
12.01.2016 – 12.05.2016	Продолжения исследования литературы, патентов, книг и статей обезжелезиванию воды. Выбор наиболее подходящих методов.
16.10.2016 – 12.12.2016	Экспериментальный анализ, сравнение эффективности методов.
12.01.2017 – 17.03.2017	Оформление лабораторных исследований, выбор наиболее эффективного, подбор оборудования и разработка схемы внедрения. Расчет капитальных вложений.
20.04.2017 – 12.05.2017	Работа над нормативно – правовой документацией; оформление пояснительной записки.
17.05.2017 – 10.06.2017	Графическое оформление чертежей и оформление прочей документации и доклада.

Научный руководитель


подпись, дата

И.В.Андруняк
инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению


подпись, дата

В.В.Щетникова
инициалы, фамилия

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 Современное состояние системы водоснабжения и основные методы повышения ее безопасности.....	10
1.1 Характеристика Рыбинской ЛПДС.	10
1.1.1 Элементы системы водоснабжения	11
1.1.2 Качество добываемой воды	13
1.1.3 Описание метода применяемого на станции	16
1.2 Влияние избыточного количества железа на организм человека	17
1.3 Водоподготовка	19
1.3.1 Основные методы	19
1.3.1.1 Механические методы	19
1.3.1.2 Физико-химические методы	19
1.3.1.3 Мембранные методы	21
1.3.1.4 Электрохимические методы	22
1.3.2 Формы существования железа в железосодержащих природных водах	23
1.3.3 Технологические аспекты подготовки воды с учётом ее специфики	24
1.3.3.1 Безреагентное обезжелезивание	25
1.3.3.2 Реагентное обезжелезивания	28
1.3.3.3 Каталитическое и ионообменное обезжелезивание	30
1.3.4 Выбор безреагентной альтернативной обработки железосодержащей воды	33
1.3.4.1 Кавитационная обработка воды	35
1.3.4.2 Патентный обзор	40
1.3.4.3 Аэрационная обработка воды	45
2 Объекты и методы исследования	52
2.1 Экспериментальное исследование и результаты.....	52

2.1 Предлагаемая схема внедрения водоподготовки	60
3 Расчет риска	63
3.1 Оценка риска возникновения канцерогенных эффектов.....	65
4 Расчет капитальных вложений на модернизацию схемы водоподготовки.....	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	73
ПРИЛОЖЕНИЕ А –Факторы формирования химического состава подземных вод	80
ПРИЛОЖЕНИЕ Б –Классификация примесей и методы их удаления.....	81
ПРИЛОЖЕНИЕ В – Аттестат акредитации исследовательской лаборатории Рыбинской ЛПДС АО «Транснефть – Западная Сибирь».	83
ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Движение водного потока в водном резервуаре.....	84

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время обостряются проблемы, связанные с загрязнением запасов пресной воды. Согласно Государственного доклада «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2015 г» добыча подземной воды в Красноярском крае на 2015 год составляет - 980,1 тыс.м³/сут. Вода используется для хозяйственно-питьевого водоснабжения объектов промышленности и населения. Интенсивность использования в основном зависит от хозяйственной освоенности и степени гидрогеологической изученности территории. Мониторинг качества подземных вод в Красноярском крае осуществляет МУП ЭМР ТЦ «Эвенкиягеомониторинг».

Качество питьевой воды напрямую связано с состоянием здоровья персонала, экологической чистотой продуктов питания и с разрешением проблем медицинского характера.

Современная система водоснабжения – это сложный комплекс инженерных сооружений и устройств, обеспечивающий получение (забор) вод из природных источников, её кондиционирование до требований потребителя, транспортирование и распределение её между пользователями. Конечная цель таких комплексов доставить воду до потребителя. А тут уже существенную роль значит качество этой воды.

Качество воды, устанавливаются исходя из целей использования. Требования предъявляемые для питьевой, намного выше, чем для воды технического назначения.

Существует несколько категорий водопользования [1]:

-поверхностные воды, которые идут на хозяйственно-питьевые и коммунально-бытовые нужды, водоснабжение пищевых производств; нужды рыбного хозяйства; рекреационного водопользования; водопользования других производств;

- подземные воды, которые используются для таких же целей, что и

поверхностные воды, за исключением рыбного хозяйства и рекреационного водопользования.

Важно отметить, что одни и те же показатели качества воды в нормативных документах могут существенно отличаться друг от друга.

В настоящее время система централизованного водоснабжения, доставляющая воду соответствующего качества, доступна только вблизи городских агломераций. Для предприятий расположенных вдали, оптимальным решением является самостоятельная добыча вод из подземных источников.

Подземные воды несут важнейшую роль в хозяйственно питьевом водоснабжении, при этом отмечается тенденция к увеличению их использования, что обусловлено лучшим качеством, защищенностью от антропогенного загрязнения и меньшей подверженности сезонным колебаниям по сравнению с поверхностными источниками. Эти и другие преимущества предопределили широкое использование подземных вод для водоснабжения [6]. Однако подземные воды в ряде случаев не отвечают требованиям питьевого водоснабжения [11].

Подземные воды, как источник водоснабжения, имеют ряд преимуществ по сравнению с поверхностными водами. Прежде всего, подземные воды более надежно защищены от загрязнения и, как правило, обладают лучшим качеством, меньше подвержены сезонным колебаниям.. На сегодняшний день около 1/3 мирового населения обеспечиваются водой из подземных источников.

К настоящему времени можно считать установленным, что основным видом питания подземных вод зоны активного водообмена является инфильтрация (просачивание) атмосферных осадков. Часть подземных вод образуется путем конденсации и сорбции. Как результат, этот ценный ресурс, уже не обладают высоким качеством, в такой воде содержится огромное многообразие элементов. Употребление такой воды влечет множество проблем. Достигая определенной концентрации в организме, большинство

элементов оказывают губительное воздействие.

Объект исследования – процесс безреагентного обезжелезивания на основе эффектов кавитации.

Предмет исследования – оборудование по кондиционированию природной воды.

Цель диссертационной работы состоит в разработке и подборе метода, позволяющего повысить качество добываемых вод до требований, предъявляемых к питьевой по СанПин 1074-01.

В соответствие с поставленной целью были определены задачи:

1. Провести анализ всех этапов системы водоснабжения. Определено направление повышения их безопасности;

2. Оценить качество добываемой воды, подобрать наиболее подходящий метод водоподготовки;

3. Провести эксперимент с целью выбора наиболее преимущественного метода, рассчитать величину снижения риска;

4. Разработать схему внедрения водоподготовки нового оборудования, рассчитать технико – экономическое обоснование для новой схемы.

Для выполнения поставленных задач использовались актуальные и современные методы исследования на основе физико-химических исследованиях веществ: стандартные методики кинетических измерений, статистические методы обработки результатов прикладными программными продуктами.

1 Современное состояние системы водоснабжения и основные методы повышения ее безопасности

1.1 Характеристика Рыбинской ЛПДС.

Линейно-производственная-диспетчерская станция (ЛПДС) «Рыбинская» входит в состав Красноярского районного нефтепроводного управления АО «Танснефть – Западная Сибирь» ПАО «Транснефть».

Красноярское районное нефтепроводное управление выполняет работы по приему, перекачки и сдаче нефти смежникам и на нефтеперерабатывающие предприятия. Выполняет техническое обслуживание ремонт оборудования, устранение дефектов и ликвидацию аварий на магистральных нефтепроводах, капитальный ремонт и капитальное строительство на объектах Управления.

Красноярское РНУ включает в себя Аппарат управления и 5 структурных подразделений, в том числе:

- Рыбинская Линейная производственно-диспетчерская станция (РЛПДС);
- Пойменная нефтеперекачивающая станция (.ЛНПС);
- Нефтеперекачивающая станция «Вознесенка» (НПСВ)
- Кемчугская нефтеперекачивающая станция (.КНПС);
- Ачинская линейная производственно-диспетчерская станция (АЛПДС);
- УПТОиК -
- Цех технологического транспорта и спецтехники (ЦТТ и СТ);
- Централизованная ремонтная служба (ЦРС);

Рыбинская ЛПДС введена в эксплуатацию в 1965 году и осуществляет свою деятельность в соответствии с положением о нефтеперекачивающей

станции. Данная ЛПДС самая крупная структура в составе Красноярского РНУ, она единственная имеет резервуарный парк.

Рыбинская линейная производственно-диспетчерская станция предназначена для приема нефти из нефтепровода в «свободную емкость» резервуарного парка, а так же перекачки нефти из емкости резервуарного парка в магистральный нефтепровод.

1.1.1 Элементы системы водоснабжения

На сегодняшний день применяемая система водоснабжения на станции имеет ряд необходимых составляющих у каждой из них своя задача и конструктивное решение. Схема состоит из:

- источник воды;
- водозаборное сооружение типа «скважина» с глубиной 150 метров.
- насосная станция 1 подъема;
- обвязочная сеть трубопроводов;
- очистное фильтрующее устройство;
- водораспределительная сеть.

Насосная станция водопроводного комплекса предназначена для закачки ресурса к водоразборным точкам и предохранительная, запорная и регулирующая арматура. Все эти элементы считаются обязательными в любых инженерных сетях. Они монтируются согласно исходному проекту с соблюдением требований и рекомендаций. Реле давления отслеживает изменения давления в водопроводной системе. Оно включает или отключает насос, когда давление достигает установленного нижнего или верхнего уровня. Т.е. при понижении давления насос включается и подает воду в систему, а при достижении верхнего уровня - отключается. Давление в сети водоснабжения контролируется и при помощи манометра. Он выполняет исключительно регистрирующую функцию, благодаря которой можно точно

определить параметры. Эти данные необходимы для правильной работы реле давления. Для учета всей потребленной воды установлен счетчик водоснабжения.

При помощи сети передающих и распределительных труб вода поступает на систему водоподготовки откуда в дальнейшем распределяется и доставляется потребителю. Эти герметично собранные в единую инженерную сеть трубопроводы считаются так же основой автономного водоснабжения, а от плохого состояния водовода качество воды ухудшаться. Они должны быть прочными, хорошо держать вероятные перепады давления, поставлять жидкость в полном объеме и надлежащего качества. Также трубы обязаны хорошо переносить высокие температуры (для ГВС и отопления), не воспринимать действие химических соединений и отложений/засорений.

Обслуживание скважины включает ежемесячное промывание, для исключения заиливания, данная процедура исключает влияние состояние скважины на качественный состав воды. Используемая скважина в полном объеме удовлетворяет следующие трубования:

- обеспечивает необходимое количество воды с учетом роста водопотребления;
- обладает достаточной мощностью, при котором отбор воды не нарушает сложившуюся экологическую систему.

В 2013 году на станции была произведена капитальная замена распределительной сети водовода выполненной из железа на полипропиленовые трубы. Водовод выполненный из данного материала обладает высокой химической стойкостью (инертностью), особенная характеристика полипропиленовых труб — они нетоксичны, это совершенно не влияет на качество воды.

Анализ системы водоснабжения на станции не выявил проблемного этапа, который бы мог изменять состав воды на ее этапах от добычи из скважины, до транспортировки до потребителя. Из этого следует что стоит обратить внимание на состав добываемой воды и метод её водоподготовки.

1.1.2 Качество добываемой воды

В настоящее время на станциях для хозяйственного и питьевого водоснабжения используется вода из подземных источников. Несмотря на то, что качество подземных вод по сравнению с поверхностными более высокое, за счет их защищенности от антропогенного воздействия, подземные воды часто не соответствуют установленным нормативам.

В зависимости от растворённых в них микроэлементов они могут обладать теми или иными отрицательными свойствами, влияющих на здоровье человека. В целях максимальной эффективности выбранного оборудования, подбор метода осуществляется на основании анализа качественного состава воды. Для эффективного и экологически безопасного водопотребления необходимо не только установить химический состав вод в эксплуатируемых водоносных горизонтах, но и определить факторы, влияющие на этот состав [21].

Формирование химического состава природных вод определяют две группы факторов: прямые и косвенные. К прямым относятся факторы, воздействующие на воду непосредственно, изменяя ее состав. Косвенные факторы определяют условия, в которых протекает взаимодействие с водой (климат, рельеф, гидрогеологический режим и т.п.) [12]. Влияние прямых и подземных факторов для подземных вод приведено в приложение А.

Взаимодействие окружающей среды и природы непрерывное, что является причиной постоянного изменения характеристик воды под воздействием различных факторов. В таблице 1 приведены результаты испытаний за четыре квартала.

Таблица 1 - Результаты испытаний воды, добываемой из подземных источников на Рыбинской ЛПДС

Наименование показателей	Результат испытаний				Требования к качеству объекта
	Октябрь 2015	Январь 2016	Апрель 2016	Июль 2016	
рН	6,4	6,5	6,4	6,5	6-9
Нефтепродукты	0,01	0,02	0,017	0,016	0,1
Железо	2,4	2,07	1,17	2,16	0,3
Жесткость (общая)	5,02	4,16	4,57	4,74	7
Сухой остаток	390,10	319,00	343,5	361,5	1000

Из таблицы 1 видно, что показатель содержания компонентов железа в воде стабильно превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК).

На рисунке 1 изложен географический в виде диаграммы по превышению концентрации железа в %.

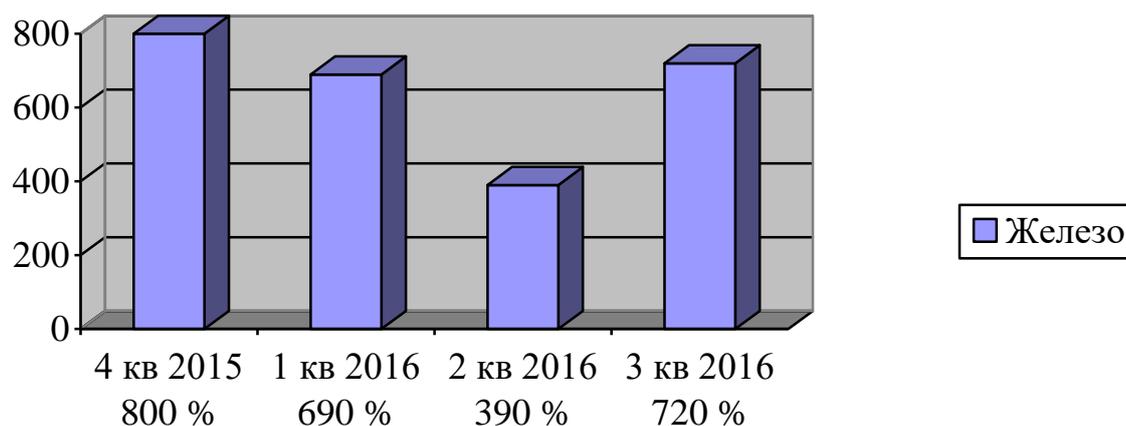


Рисунок 1 – Динамика превышение ПДК по железу в природной воде.

Анализ качественного состава выявил, что компонентом, содержание которого не соответствует требованию, предъявляемому к питьевой воде, является железо. Кратность его превышения достигает в 8 раз.

Необходимо отметить, что задача обезжелезивания несет первостепенный характер.

Для проведения оценки географических масштабов, так же проведен анализ кратности превышения ПДК по железу в районах Красноярского края на основе данных Аналитической лаборатории Рыбинской линейной производственно-диспетчерской станции Филиала «Красноярское районное нефтепроводное управление» АО «Транснефть – Западная Сибирь». Результаты изложены на рисунке 2.

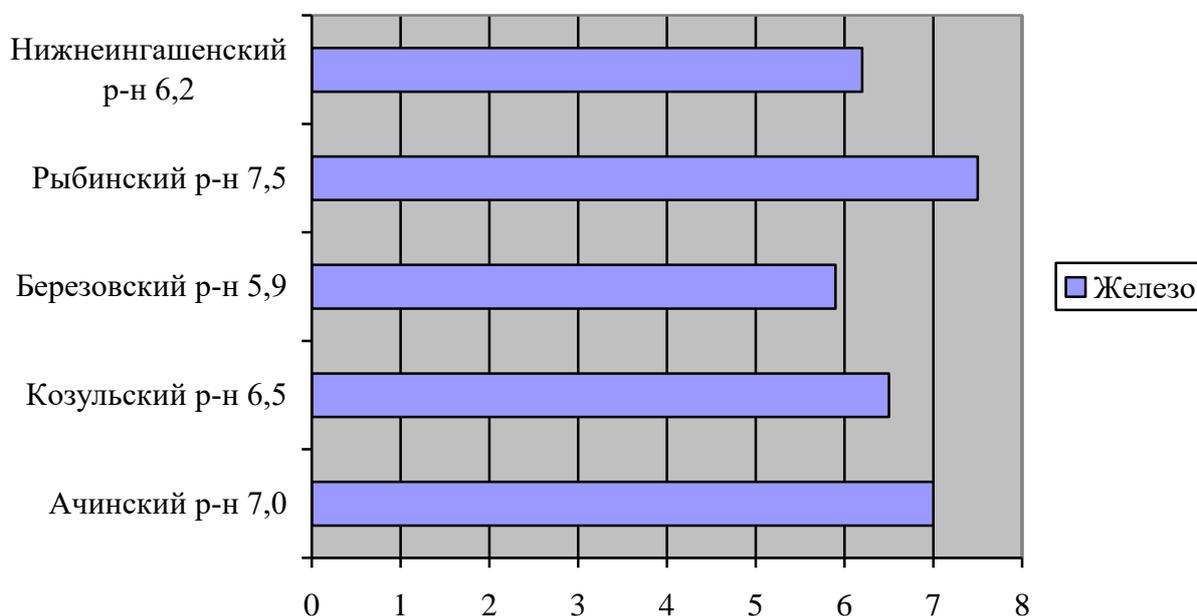


Рисунок 2 - Кратность превышения ПДК железа по районам в Красноярском крае.

Из графика видно, что содержание железа в подземных водах варьируется в широких пределах. Железо – это самый распространенный в земле элемент. Наличие в подземной воде его в высоких концентрациях не связано с техногенным загрязнением – это природное несоответствие качества воды установленным нормам. Соединения железа относятся к малотоксичным элементам, но от них большое влияние на органолептические свойства воды.

Проблема высокого уровня железа в подземной воде является достаточно весомой и непременно стоит уделить особое внимание именно методу очистки воды от компонентов железа.

1.1.3 Описание метода применяемого на станции

На сегодняшний день на Рыбинской ЛПДС применяемый метод водоподготовки делится на три этапа:

1. На первоначальном этапе вода проходит через сооружение, в которое устанавливаются картридж, для снижения компонентов железа в воде.

2. После предварительной очистки вода поступает в установку обратного осмоса.

3. На финишном этапе вода проходит через угольный фильтр.

Данная система изображена на рисунке 3

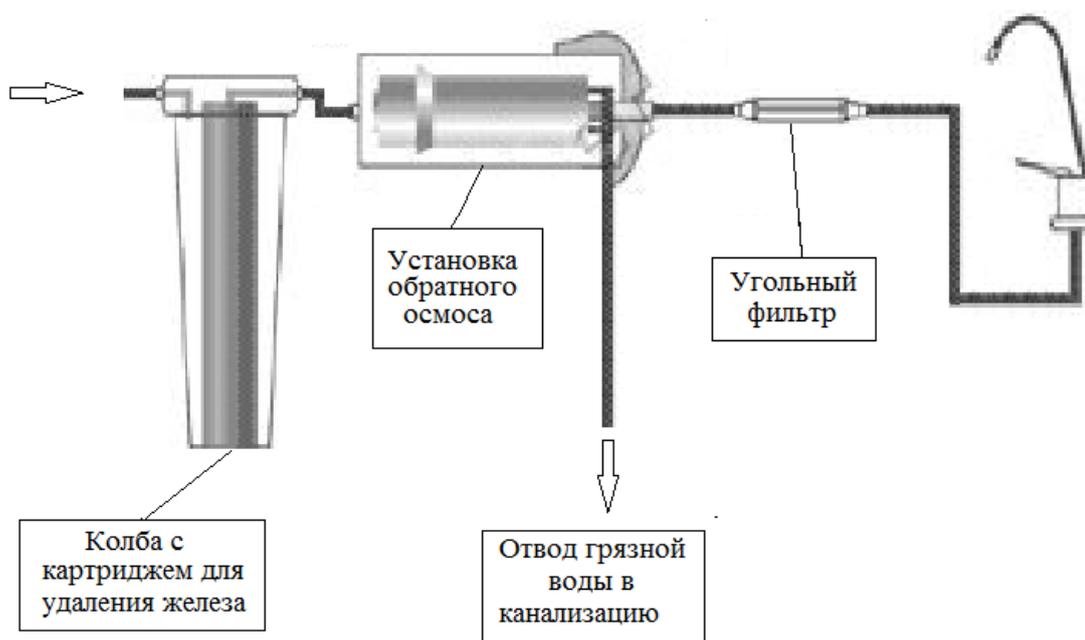


Рисунок 3 - Этапы водоподготовки на станции.

Используемые картриджи имеют «свой предел» насыщения железа, при несвоевременной замене картриджа, железо перестанет осаждаться в картридже, а будет наоборот до насыщать и так уже воду с высоким содержанием железа. Такой метод является не безопасным, а присутствие такого фактора, является прямым показателем, для рассмотрения

альтернативного, более безопасного, метода водоподготовки.

1.2 Влияние избыточного количества железа на организм человека

В настоящее время обостряется проблема наличия растворенного железа в подземной воде. Если своевременно не решить данную проблему, она даст о себе знать не только на уровне состояния техники, но и на здоровье человека.

Если человек потребляет воду с высоким содержанием железа годами, этот химический элемент постепенно оседает в организме. Причём, сосредотачивается оно в самых важных внутренних органах – почках, печени, сердце, лёгких, кишечнике и поджелудочной железе. В итоге, в зрелом возрасте, повышенное содержание железа в воде может внести вклад в появление нервных патологий, развитие сахарного диабета, ухудшение работы суставов и затруднение умственной деятельности [2].

Распространёнными последствиями чрезмерного содержания железа (в том числе дивалентного) в организме являются:

- Раздражение кожи, неприятные ощущения при прикосновении к ней. Возможны аллергические реакции, незначительное пожелтение кожных покровов и слизистых оболочек.

- Увеличение размера печени.
- Постепенное изменение морфологического состава крови.
- Утрата веса, бледность, высокая утомляемость, слабость.
- Нарушения нормального сердечного ритма.
- Ухудшение памяти, невозможность сосредоточиться.
- Частые расстройства желудка
- Проблемы со щитовидной железой.

Избыток железа в воде вносит свой вклад в развитие многих заболеваний. Этот элемент способен накапливаться до токсической концентрации в органах и тканях, включая суставы, печень, эндокринные

железы и сердце. Железо может создавать питательную среду для роста вредных микроорганизмов и клеток злокачественных опухолей, а также дополнительно стимулировать канцерогенное действие свободных радикалов. Высокие концентрации железа обнаруживаются в мозге людей, страдающих болезнью Паркинсона. Избыток железа нарушает функцию центральной нервной системы, усугубляя психические расстройства [2].

Слишком большое количество железа в организме пожилых мужчин и женщин способствует накоплению свободных радикалов, может ускорить развитие общего старения. При хронической перегрузке организма железом происходит его отложение в тканях, которое носит очаговый или генерализованный характер (гемосидероз).

Гемохроматоз обычно развивается в среднем и старшем возрасте. При этом заболевании возникает бронзовая окраска кожи, развивается цирроз печени, сахарный диабет, поражается сердце. Последнее проявляется кардиомегалией, сердечной недостаточностью, аритмией, нарушением проводимости. Часто отмечаются гормональные нарушения – гипофизарная недостаточность, атрофия яичек с утратой либидо. Могут возникнуть боли в животе, артриты и хондрокальциноз [3].

1.3 Водоподготовка

1.3.1 Основные методы

Методы очистки воды — способы отделения воды от нежелательных примесей и элементов. Существуют несколько методов очистки и все они входят в четыре группы методов:

- физико-химические
- мембранные;
- электрохимические
- механические;

Эффективность метода напрямую зависит от того насколько грамотно он подобран. Должны учитываться не только состав загрязняющих веществ но цели использования.

1.3.1.1 Механические методы

Наиболее дешевая — механическая очистка. Она применяется для выделения взвесей. Основные методы: процеживание, отстаивание и фильтрование. Применяются, как предварительные этапы.

Первый этап в подготовки воды, удаление плавающих примесей - классифицируется как предварительная подготовка.

Различают несколько видов такой очистки: фильтрование, отстаивание, процеживание. Эффективность зависит от свойств примесей, ряда факторов и загрузки. В случае отсутствия превышения 50 мг/л плавающих примесей в воде используют фильтры однослойные, двухслойные - 100 мг/л .

1.3.1.2 Физико-химические методы

Натрий-катионирование - самый распространенный метод умягчения воды. Он основан на способности ионообменных материалов заменять ионы кальция и магния на ионы других веществ, не образующих накипь на поверхности [35].

Натрий-хлор-ионирование применяется, когда нужно уменьшить общую жесткость, общую и относительную щелочность, а также минерализацию исходной воды [36].

Процесс ионного обмена обратимы. Поэтому если в воде ионов натрия становится все больше по сравнению с количеством ионов кальция и магния, то процесс замещения ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} замедляется. [35].

При Н-катионировании воды значительно снижается ее рН из-за кислот, образующихся в фильтрате. Наряду с умягчением воды и уменьшением жесткости воды, снижается минерализация воды.

Для уменьшения общей жесткости, общей щелочности и минерализации воды применяется водород – натрий – катионирование.

Аммоний – натрий – катионирование (обменный катион – ион аммония – NH_4^+) используется для достижения тех же целей, что и при натрий-хлор-ионировании [6]. Особенность данного метода заключается в его невозможности применять для обработки горячей воды.

Анионирование, применяется для очистки воды от растворенных анионов. Обычно, данному метод подвергают воду только после катионирования. После чего анионита регенерируется при помощи фильтра с щелочью (NaOH). В качестве агента для регинерации используют NaHCO_3 , NH_4OH , Na_2CO_3 / [10]

Для удаления углекислого газа из воды иприменяют декарбонизаторы – аппараты, заполненные с насадками или наполнителем, и поводящие воздух в воду.

Обезжелезивание воды – часто необходима для подземной природной воды из скважин. Такая вода обладает неприятным цветом и вкусом.

Традиционно используют реагентная обработка воды с фильтром. При

очистке воды от железа используют фильтрование предварительно обработанной воды: коагуляция, аэрация, - введение реагентов.

Так же для снижения железа в воде используют флотацию, электронную коагуляцию. При обезжелезивании, воды гидроксидом железа ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), для наполнения фильтров используют специальные материалы, катализатором обработанные, увеличивающим скорость окисления Fe^{2+} в Fe^{3+} . [10]

1.3.1.3 Мембранные методы

Методы ионного обмена и дистилляции позволяют почти полностью обессолить воду, однако эти методы имеют ряд недостатков: необходимость регенерации ионитов, дорогое громоздкое оборудование, высокая стоимость ионнообменных смол и др. Более широкое распространение получили баромембранные методы очистки: обратный осмос, микро-, ультра- и нано-фильтрация [7].

Установку обратного осмоса используют для уменьшения минералов в воде. Метод включает ступенчатую систему водоподготовки, зависящую от цели, он задерживает около 99% микроэлементов.

Ультрафильтрация похожа на обратный осмос, но это промежуточное звено от фильтра до обратного осмоса. Отличается тем, что ее используют для молекул разных масс.[10]

Фильтрацию применяют для разделения эмульсий, пестицидов, красителей, и гербицидов, некоторые органические веществ, вирусы, пыль и др.

Чем больше процесс фильтрования, тем лучше подходят к фильтрованию.

Особую группу занимают трековые мембраны, которые получают облучением пленок потоком тяжелых ионов. После обработки пленки ультрафиолетовыми лучами и травлением щелочью в пленке образуются

поры диаметром 0,2–0,4 мкм [24].

Сегодня широко применяется для уменьшения соли в воде применяют обратный осмос. Данный метод открыли в 1953 г.

Сегодня используют следующие типы установок по методу установски мембраны: «фильтр-пресс» с плоскокамерными фильтрующими элементами; с трубчатыми фильтрующими элементами; с рулонными или спиральными фильтрующими элементами, а также с мембранами в виде полых волокон. Следует отметить, что установки состоят из большого числа унифицированных фильтрующих элементов или модулей, которые соединяются по определенной схеме [38].

Мембранные установки и аппараты. К аппаратам для осуществления баромембранных процессов в промышленных масштабах предъявляются требования, определяемые возможностью их изготовления и условиями эксплуатации [39]

1.3.1.4 Электрохимические методы

Электрохимические методы основаны на электролизе, он заключается в применении электроэнергии для осуществления окисления, восстановления. Электролиза проходит поверх электродов, находящихся в электролите. под действием электро токаом заряженные ионы, двигаются в противоположных направлениях: катионы⁺ к катоду, анионы⁻ – к аноду. На электродах анионы. Так они становятся нейтральными молекулами.

Электрохимические методы находят широкое применение, когда традиционные способы механической, биологической и физико-химической обработки воды оказываются недостаточно эффективными или не могут использоваться, например, из-за дефицита производственных площадей, сложности доставки и использования реагентов и по другим причинам. Кроме того, во многих случаях электрохимические методы исключают вторичное загрязнение воды анионными и катионными остатками,

характерными для реагентных методов [8].

Данные методы широко применяют для централизованного водоснабжения.

Несмотря на то, что при электролизе протекают окислительно-восстановительные процессы, механизм электрохимических реакций сильно отличается от обычных химических превращений. Отличительной особенностью электрохимических реакций является их пространственное разделение на два сопутствующих друг другу процесса: разложения веществ и получения новых продуктов, которые происходят на границе электрод-раствор под действием электрического тока [37].

Технологическая схема подготовки воды, может быть дополнена процессом озонсорбции, мембранным фильтрованием на ультрафильтрационных модулях и другими методами [9].

1.3.2 Формы существования железа в железосодержащих природных водах

Поверхностные воды характеризуются преобладающим количеством железа в виде тонкодисперсных взвесей, коллоидных взвесей, минеральных и органических комплексных соединений.

Подземные воды содержат железо в виде бикарбоната железа II, устойчивость которого напрямую зависит от растворенного кислорода и количества углекислоты.

Исходным материалом для образования и накопления железа в природных водах являются водовмещающие породы и породы, с которыми вода контактирует в процессе своей миграции. К их числу относятся песчано-гравийные и глинистые материалы, содержащие большое количество железистых соединений. Выявление форм содержания железа в воде является очень важной задачей, разрешение которой позволит предопределить метод его удаления. [4].

. Обогащение подземных вод железом происходит в следствии выщелачивания и растворения железных минералов и пород под действием углекислоты и органических кислот. В природной воде железо встречается в нескольких формах, к каждой из которых необходимо применять свою специфику очистки.

1. Элементарное железо (Fe^0). В воде не растворяется, в присутствии кислорода воздуха или влаги окисляется до Fe_2O_3 , образуя ржавчину.

2. Железо двухвалентное (Fe^{2+}). Преимущественно бывает там, где нет кислорода воздуха и довольно высокое содержание углекислоты, т.е. в основном в подземных водах. Его соединения хорошо растворимы. При окислении выпадает в красно-бурый осадок.

3. Гидроксид железа (III). При нейтральном pH и выше нерастворим в воде, может находиться как в коллоидном состоянии, так и выпадать в осадок красно-бурого цвета.

4. Хлорид железа ($FeCl_3$), сульфат железа ($Fe_2(SO_4)_3$) – соли железа III, хорошо растворимы в воде.

5. Органическое железо. Наибольшую роль в образовании органического железа играют гумусовые вещества, образуя с ним сложные комплексы и коллоидные структуры. Очистка от коллоидного железа представляет наиболее трудную задачу из всех прочих. [5]

Выявление формы содержания железа в воде позволяет предопределить метод его удаления, а значит, является неотъемлемой частью задачи в снижении уровня железа.

1.3.3 Технологические аспекты подготовки воды с учётом ее специфики

В настоящее время существуют различные способы очистки воды от соединений железа, такие как безреагентная очистка, реагентная, очистка

воды озоном, электромагнитным полем, обратным осмосом, аэрацией и другие.

1.3.3.1 Безреагентное обезжелезивание

Безреагентные методы также можно назвать аэрационными методами обезжелезивания, так как их неотъемлемой частью является процесс насыщения исходной воды кислородом воздуха. Они чаще применяются при очистке подземных вод, т.е в тех случаях где воздействия кислорода воздуха достаточно для окисления двухвалентного железа.

Метод упрощенной аэрации и фильтровании

Метод заключается в предварительной аэрации для насыщения воды кислородом воздуха с последующим фильтрованием через зернистую загрузку. При фильтровании через зернистый слой на поверхности зерен образуется каталитическая пленка, состоящая из ионов и оксидов двухвалентного и трехвалентного железа:



Каталитическая пленка интенсифицирует процесс окисления и перехода железа в твердую фазу [27]. К преимуществам данного метода следует отнести отсутствие необходимости окисления железа (II) и перевода его в гидроокись железа (III) в объеме воды.

Упрощенную аэрацию допускается применять при следующих показателях качества воды: содержание железа (общего) - до 10 мг/л; в том числе двухвалентного (Fe^{2+}) - не менее 70 %, pH - не менее 6,8; щелочности - более ($1 + \text{Fe}^{2+}/28$) мг-экв/л; содержание сероводорода не более 2 мг/л [32].

Аппаратурно метод упрощенной аэрации осуществляется в напорном и безнапорном варианте. В первом случае воздух подается в трубопровод под давлением перед напорным фильтром, во втором аэрация проводится путем

излива воды с небольшой высоты в карман или центральный канал фильтра [33]. В качестве загрузок фильтров могут применяться следующие материалы; кварцевый песок, керамзит, природный цеолит, кокс, антрацит, гравий и др.

Помимо зернистых загрузок возможно применение полимерных материалов. Так были получены хорошие результаты при фильтровании железосодержащих вод с предварительной аэрацией на блочном открытоячейном пенополиуретане (ППУ). Основным недостатком применения ППУ в качестве фильтрующего материала является сложность аппаратного оформления процесса регенерации отжимом [34].

Следует отметить, что метод упрощенной аэрации эффективно удаляет железо только после формирования каталитической пленки на поверхности загрузки, на что требуется затратить определенное время (от нескольких часов до нескольких суток), называемое временем «зарядки» фильтра.

Метод глубокой аэрации

Сущность метода заключается в окислении кислородом воздуха двухвалентного железа в трехвалентное с последующей коагуляцией и выделением в осадок отстаиванием или фильтрованием.

Метод усиленной аэрации

Применяется при большом содержании железа (более 10 мг/л), необходимости удаления сероводорода и увеличения рН до 6,8 и более. Сущность метода заключается в создании большой контактной площади и подачи большого количества воздуха. Для осуществления процесса, аэрация проводится на специальных устройствах: вентиляторные градирни, контактные градирни с керамической или деревянной насадкой, а также на установках, предложенных в [26]. Далее процесс очистки осуществляется аналогично глубокой аэрации.

Метод сухой фильтрации

Применяется при содержании железа в исходной воде до 6 мг/л и соблюдении требований, предъявляемых к методу упрощенной аэрации.

Метод сухой фильтрации представляет собой фильтрование воздушно-водяной эмульсии через незатопленную (сухую) загрузку, при этом в поровых каналах загрузки образуется турбулентный режим движения смеси.

Особенность процесса заключается в образовании дегидратированной пленки на зернах загрузки, состоящей из магнетита (Fe_3O_4 , сидерита (FeCO_3), гетита и геманита (Fe_2O_3). Указанные соединения имеют плотную структуру, а объем их в 4-5 раз меньше, чем у гидроксида железа (III), что объясняет невысокий прирост потери напора при такой организации процесса [30]. К сухой фильтрации можно отнести метод аэрофильтрации. Данный метод отличается тем, что верхняя часть загрузки (крупная фракция) незатоплена, а нижняя (мелкая фракция) затоплена и выполняет роль фильтра [38].

Фильтрование в слое взвешенного осадка

Может применяться при большом содержании железа. Сущность метода заключается в пропускании очищаемой воды через сформированный взвешенный слой, состоящий из гидроксида железа (III), при этом предварительно вода аэрируется. Недостатком данного метода является достаточно длительный процесс «зарядки» фильтра (создание взвешенного слоя), а также значительные колебания эффективности при изменении pH [27].

Электрохимическим метод

Очистка проводится в электролизерах с растворимым анодом (алюминиевый или железный электрод) или реакторе с импульсным электрическим разрядом в слое железных гранул. При этом в аппарате происходит образование хлопьев, состоящих из гидроксида железа (III) и активизирующих процесс очистки. Применение импульсного электрического разряда является менее энергозатратным, причем в качестве металлической загрузки используются отходы металлообработки. Данный метод применяется при небольших объемах очищаемой воды и высоких концентрациях железа [40].

Обезжелезивание в подземных условиях («Виредокс»)

Сущность метода заключается в создании вокруг забойной части скважины окислительной зоны путем закачки воды, обогащенной кислородом воздуха. При этом происходит «зарядка» водовмещающей породы, которая связывает больше количество железа. Недостатком данного метода является возможность коагулирования водоносного горизонта [25].

Биологический метод

Сущность метода заключается в фильтровании железосодержащих вод через загрузку с развитой каталитической пленкой, сформированной из микроорганизмов (железобактерий). Формирование пленки возможно на любой инертной загрузке: песок, гравий, активированный уголь, различные синтетические материалы и т.д. Достоинством метода являются низкие энергозатраты процесса обезжелезивания, однако для развития и поддержания жизни микроорганизмов необходимо поддерживать требуемый уровень pH, а также проводить предварительную аэрацию воды.

Железобактерии не представляют опасности для человека, однако продукты их жизнедеятельности токсичны, поэтому заключительным этапом биологического обезжелезивания является сорбционная очистка от продуктов жизнедеятельности микроорганизмов и обеззараживание воды ультрафиолетом или сильными окислителями [42].

1.3.3.2 Реагентное обезжелезивания

Реагентные методы обезжелезивания воды применяют при низких значениях pH, высокой окисляемости или нестабильности воды.

Обработка железосодержащей воды окислителями.

Данный метод используют для более интенсивного процесса окисления железа (II), а также при необходимости обеззараживания воды в процессе обработки. Сущность метода заключается во вводе окислителя в исходную воду перед фильтрами. В качестве окислителей используют хлор и его

производные, перманганат калия (KMnO₄), озон.

При применении хлора происходит окисление железа (II), затем протекает процесс гидролиза и образования гидроксида железа (III), который выпадает в осадок;



Следует отметить, что в присутствии аммонийных солей, скорость окисления железа (II) хлором снижается.

Перманганат калия окисляет железо (II) достаточно быстро, при этом образуется осадок оксида марганца (IV), каталитически ускоряющий процесс последующего окисления железа (II):



В процессе озонирования воды помимо окисления железа (II) также происходит обеззараживание, дезодорация и улучшение органолептических свойств воды [45].

В [46] приведен метод очистки от железа в комплексном виде с помощью введения в исходную воду CO₂ для разрушения коллоида. Вторая стадия заключается в десорбции CO₂, восстановлении pH и возврате CO₂ в цикл. Данный метод может использоваться для очистки воды содержащей коллоидное железо и органические вещества гумусового происхождения.

Обезжелезивание воды известкованием.

Данный метод является достаточно универсальным, применяется при очистке воды содержащей сернокислородное железо, сероводород, а также в тех случаях, когда щелочность исходной воды ниже критического уровня или она характеризуется высокой окисляемостью. Предварительно проводится

аэрация для обогащения воды кислородом и удаления части свободной углекислоты. Далее осуществляется процесс, описываемый следующей реакцией:



Недостатком обезжелезивания известкованием являются высокие эксплуатационные затраты, необходимость ведения реagentного хозяйства.

1.3.3.3 Каталитическое и ионообменное обезжелезивание

Обезжелезивание каталитическим методом осуществляется фильтрованием воды через природные или модифицированные зернистые либо волокнистые материалы. Этот метод, в настоящее время, является широко распространенным, и применяется в компактных высокопроизводительных установках для бытовой и промышленной водоочистки.

К зернистым относятся специальные каталитические материалы, содержащие диоксид марганца или загрузки, у которых диоксид марганца введен при соответствующей обработке. В настоящее время широко используются следующие загрузки: Бирм (Birm, аналоги - Techlite BW, Magnofit BW), Гринсенд (Manganeze Greensand, MZ-10, MGS), Purolox, Fillox, AMDX, МТМ и их аналоги, а также отечественные - МЖФ, ДАМФ, пиролюзит, магнетит. Эти фильтрующие материалы отличаются друг от друга как физическими характеристиками, так и содержанием диоксида марганца и поэтому эффективно работают в разных диапазонах значений параметров, характеризующих воду.

Существуют два разных способа окисления железа и марганца на фильтрующем материале:

- растворенным в воде окислителем на катализаторе;
- расходуемым регенерируемым твердым окислителем.

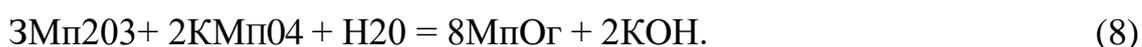
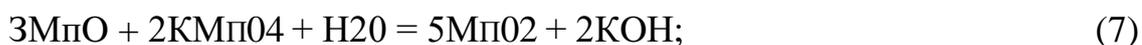
При этом один и тот же материал может осуществлять процесс обезжелезивания обоими способами. В первом случае кроме катализатора необходим окислитель, которым может являться растворенный в воде кислород, озон, активный хлор или перманганат калия. При отсутствии в воде окислителя, процесс перехода железа двухвалентного в трехвалентное осуществляется за счет восстановления оксидов железа и марганца с поверхности частиц, вследствие чего эффективность катализатора падает. Во втором варианте источником окисляющего агента является сам материал [43]. Другие зернистые каталитические материалы работают аналогичным образом.

К модифицированным волокнистым материалам можно отнести сорбент «Марганосорб», представляющий собой базальтовое волокно, покрытое пленкой из оксида марганца MnO_2 . Использование данного материала ориентировано на очистку воды от ионов марганца, однако он может успешно применяться и для обезжелезивания. Результаты исследований показали, что сорбент обладает хорошей сорбционной емкостью по ионам железа (до 30 мг/г). Регенерация материала осуществляется обратным током слабым раствором соляной кислоты. Однако применение «Марганосорба» в имеющихся станциях обезжелезивания невозможно из-за значительных гидравлических сопротивлений фильтрующего слоя, поэтому основное использование сорбента предполагается в картриджных (радиальных) фильтрах, что несколько ограничивает его распространение в установках большой производительности [41].

Процесс очистки воды от железа на материалах с регенерируемым твердым окислителем в общем случае описывается следующей реакцией:



Двухвалентное железо в исходной воде окисляется высшими оксидами марганца. Последние в процессе реакции восстанавливаются до низших степеней окисления. Во время проведения регенерации растворенным кислородом или перманганатом калия восстановленные оксиды марганца вновь окисляются до высших оксидов:



Окисленное и осажденное железо задерживается в слое загрузки. Таким образом, слой катализатора служит одновременно и фильтрующей средой.

Использование метода очистки на каталитических материалах и обезжелезивания с регенерируемым твердым окислителем имеет ряд ограничений:

- неэффективен при очистки от железа в виде комплексного соединения;
- неэффективен при очистки вод с концентрацией железа выше 10 мг/л;
- для некоторых материалов не допускается присутствие в исходной воде сероводорода;
- присутствие в воде марганца снижает эффективность обезжелезивания;
- использование для регенерации перманганата калия, производство и обращение которого с недавнего времени весьма ограничено [15].

Ионообменный метод обезжелезивания основывается на фильтровании воды через слой ионита. При этом ионы железа, согласно лиотропному ряду, будут поглощаться и задерживаться раньше и лучше ионов кальция и магния, поэтому ионообменный метод рекомендуется применять при необходимости одновременного обезжелезивания и умягчения воды, при отсутствии в воде

ионов Fe¹. В качестве ионита используют сильноокислый катионит в Na-форме, в результате пропускания воды через который извлекаются ионы Fe² и замещаются на ионы Na⁺. Регенерация катионита осуществляется аналогично регенерации при умягчении воды [18].

При наличии в воде растворенного кислорода на поверхности ионита осаждается гидроксид железа (III), при этом существенно снижается ресурс материала. Поэтому производители ионитов ограничивают содержание железа в исходной воде значениями 0,05-0,3 мг/л [31].

Известен ионообменный материал на основе базальтовых волокон, модифицированных бентонитовой глиной. Сорбент получил название «Бентосорб». В качестве ионообменного материала выступает активированная бентонитовая глина с содержанием монтмориллонита более 80%, базальтовое волокно выполняет функцию каркаса [13]. Причем обезжелезивание за счет ионного обмена осуществляется в начальный период времени, в дальнейшем обезжелезивание осуществляется за счет каталитического действия образованных гидроксида и оксидов железа (III). Недостаток «Бентосорба», также как и описанного выше «Марганосорба», заключается в высоком гидравлическом сопротивлении.

1.3.4 Выбор безреагентной альтернативной обработки железосодержащей воды

В зоне Сибири и Дальнего Востока железо присутствует в подземных водах преимущественно в двухвалентном состоянии Fe²⁺ в растворенной форме Fe(HCO)₂. Содержание кислорода в подземных водных гидравлически не связанных с поверхностными, обычно очень мало. Однако его роль в геохимическом поведении железа велика. Кислород может способствовать снижению концентрации железа.

Железо принадлежит к числу элементов, окисленные формы которых менее растворимы, чем восстановленные. При воздействии на соединения двухвалентного железа окислителем (кислород воздуха, озон, хлор и его производные и др.) происходит его окисление до трехвалентного с последующим гидролизом и образованием коллоидного раствора [28].



В подземной воде, лишенной кислорода, железо обычно находится в форме раствора бикарбоната железа, частично гидролизованного. В присутствии сульфатов в воде образуется ассоциат FeSO_4 . Процесс комплексообразования делает коллоидный раствор устойчивым и приводит к резкому усилению миграционной способности $\text{Fe}(\text{III})$ в кислородосодержащих водах [24].

В настоящее время разработано большое количество методов удаления железа как из поверхностных вод, так и подземных. Диаграмма Прубе, приведенная на рисунке 4, дает наглядное представление о возможных механизмах удаления железа как из воды. Большинство применяемых в настоящее время методов можно свести к их общему механизму работы,

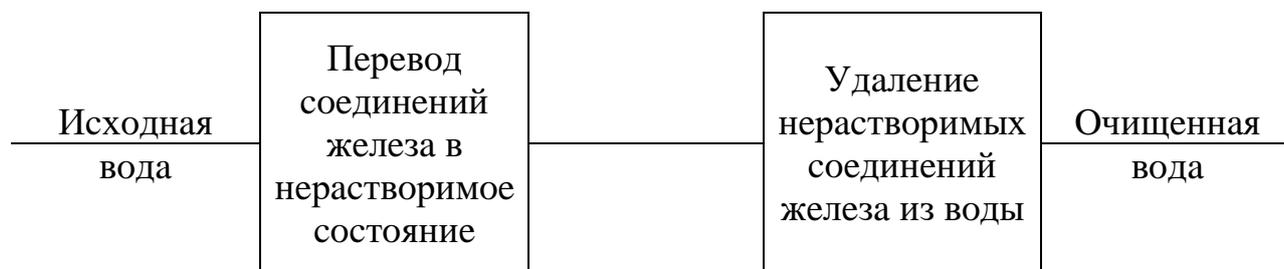


Рисунок 4 – Общая схема процесса обезжелезивания

Для обезжелезивания воды применяют способы адекватно формам, количеству железа и буферным свойствам воды. Большинство методов, применяемых в технологии обезжелезивания воды. Большинство методов

можно свести к двум основным типам: реагентные и безреагентные. В отдельные можно выделить методы с применением каталитических и ионообменных материалов. Многообразие способов обезжелезивания воды исключает их разноцветность в отношении надежности, технологичности, экономической целесообразности, простоты и области их применения. Для удаления железа из подземных вод наиболее получили распространения безреагентные методы. [33].

Обзор наиболее применяемых методов очистки воды от железа выявил, что одним из простых и экономически целесообразных способов очистки природных вод от двухвалентного железа является окисление последнего кислородом воздуха с последующей фильтрацией от образовавшихся нерастворимых соединений трехвалентного. Если учитывать, что окисление достаточно долгий процесс, так как необходимо выдерживать воду в контакте с воздухом в течение суток, то для ускорения процесса можно использовать кавитационную и аэрационную обработку воды.

1.3.4.1 Кавитационная обработка воды

Кавитация — процесс зарождения и схлопывания пузырьков газа (пара) в жидкости при резком изменении давления в ней перед препятствием. Благодаря высокой интенсивности вибрации и температуры в отдельной точке, кавитация активно разрушает органические соединения, коллоиды, клеточные мембраны микроорганизмов и даже эффективно уничтожает вирусы. Схемы схлопывания пузырька под воздействием эффекта кавитации изображена на рисунке 5.

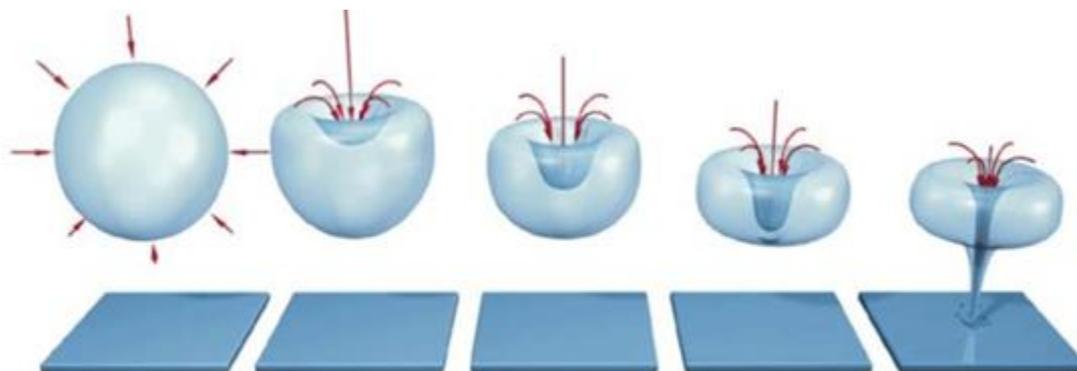


Рисунок 5 - Схемы схлопывания пузырька под воздействием эффекта кавитации.

По способу генерирования кавитация может быть акустической и гидродинамической. Для получения кавитации акустическим способом требуются дорогостоящие ультразвуковые генераторы, но гидродинамическая кавитация намного дешевле, что позволяет получать данный эффект на экономичных гидродинамических устройствах. [9].

Гидродинамическая кавитация возникает на тех участках потока, где за счет увеличения скорости течения жидкости давление понижается до некоторого критического значения. Обычно разрыв жидкости наступает при понижении давления до давления насыщенного пара жидкости при данной температуре. Схематичное изображение данного процесса отражено на рисунке 6.

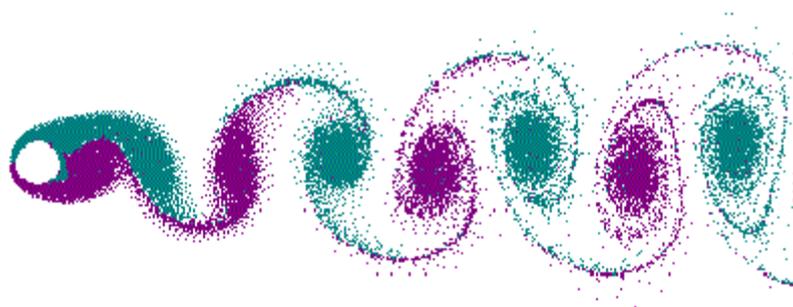


Рисунок 6 – Принцип возникновения кавитационных эффектов при движении потоков жидкости.

Физический эффект кавитационной обработки воды заключается в следующем: в местах схлопывания кавитационных пузырьков локально

возникают высокое давление (до 10000 атм.), температура (1000-10000 °С) и образуются волны разрежения-сжатия [8].

В результате резкого изменения гидростатического равновесия жидкость "разрывается", образуя многочисленные мельчайшие пузырьки газов и паров. В следующий момент, когда давление в жидкости повышается, образовавшиеся ранее пузырьки схлопываются. [14].

Под действием энергии, выделяющейся при схлопывании кавитационных пузырьков, образовании кумулятивных струек и ударных волн, в жидких средах происходит множество химических превращений, активизируются окислительно-восстановительные процессы [22].

При наличии в кавитационном пузырьке достаточного количества кислорода или водорода могут осуществляться реакции трансформации радикалов. При волновой обработке вода максимально насыщается кислородом воздуха, что приводит к интенсификации процесса окисления ионов Fe^{2+} содержащихся в воде [9]. Преобразившаяся форма железа до нерастворимых соединений трехвалентного железа легко удаляется с помощью фильтра. Для использования данного кавитатора потребуется так же дополнительное оборудование: Фильтр насыпной и накопительную емкость.

Природа разрушающего эффекта кавитации заключается в том, что в месте схлопывания каверны происходит локальное повышение давления и температуры. По данным Уилера [40], в материале вблизи схлопывающейся каверны температура повышается на 500 - 800 °С. Схлопывание пузырька происходит в течение милли- или даже микросекунды. Гаррисон [9], показал, что во время схлопывания пузырька жидкости перепады давлений могут составлять до 4000 атм. Брентон [8] доказал, что высокие давления, вызывающие разрушения, обусловлены кумулятивными струйками, образующимися при несимметричном схлопывании.

В последнее время все большее внимание уделяется также пастеризационному эффекту кавитации. Н. Е. Резник показал [40], что

гидродинамическая кавитация неблагоприятно влияет на микрофлору, находящуюся в жидкости. Эксперименты Н. Е. Резника показали, что бактерицидный эффект проявляется уже при пятикратном прохождении жидкости через зону кавитации в течение 0,1 - 0,15 сек [41].

Разрушающее действие кавитации связано не с возникновением каверн, а с их исчезновением [41]. Мельчайшие каверны - парогазовые пузырьки, образовавшиеся в зоне пониженного давления, - являются весьма нестойкими включениями в сплошной массе жидкости. Попадая в область повышенного давления, они моментально схлопываются. Дезинтеграция биологических клеточных структур в жидкости обусловлена как физическим воздействием на них, так и активизацией молекул кислорода, присутствующих в жидкости. Например, было замечено образование под действием кавитации в водных растворах перекиси водорода [41].

Интенсивное воздействие ударных волн на бактерии уменьшает их численность в тысячи раз, разрушаются коллоиды и частицы, внутри которых могут содержаться бактерии, наблюдается эффект "холодной" пастеризации. Получается, что бактерицидное действие кавитации зависит от скорости потока и числа степеней возбудителей кавитации, и оно же пропорционально ее интенсивности относительно друг друга [20].

В зависимости от внешних факторов, схлопывание пузырька может протекать по-разному. Особенно сильно это влияние сказывается на последнем этапе схлопывания пузырьков, когда их размеры очень малы. Увеличение плотности и вязкости снижает интенсивность кавитационного воздействия; наличие растворенных и нерастворенных газов в растворе замедляет коллапс пузырьков; силы поверхностного натяжения ускоряют этот процесс [1]. Наиболее вероятной является схема несимметричного схлопывания с образованием кумулятивных струек по М. Корнфельду-Л.Суворову.

На эффективность гидродинамической кавитации не влияет ни мутность, ни солевой состав воды, ни цветность исходной жидкости.

Кавитация разрушает коллоиды, частицы взвеси, на которых и внутри которых существуют бактерии, лишая их тем самым защиты от химических и физических бактерицидных агентов.

В момент захлопывания кавитационного пузырька возникает мощная гидравлическая ударная волна, которая оказывает разрушительное действие на органические соединения и микроорганизмы. Под действием кавитации происходит разрыв оболочки микробной клетки и разрушение ее структуры, а также полная гибель патогенной флоры. При этом возникновение экстремальных параметров, т. е. повышение температуры и давление, позволяет концентрировать примеси в центре камеры. [17].

О химических процессах, протекающих в водных растворах под воздействием кавитации, известно достаточно много.. Внутри схлопывающихся кавитационных микрополостей возникает огромное давление и температура, в таких условиях происходит разложение молекул воды с образованием H_2O_2 , OH и H радикалов вызывающие различные окислительно-восстановительные реакции.

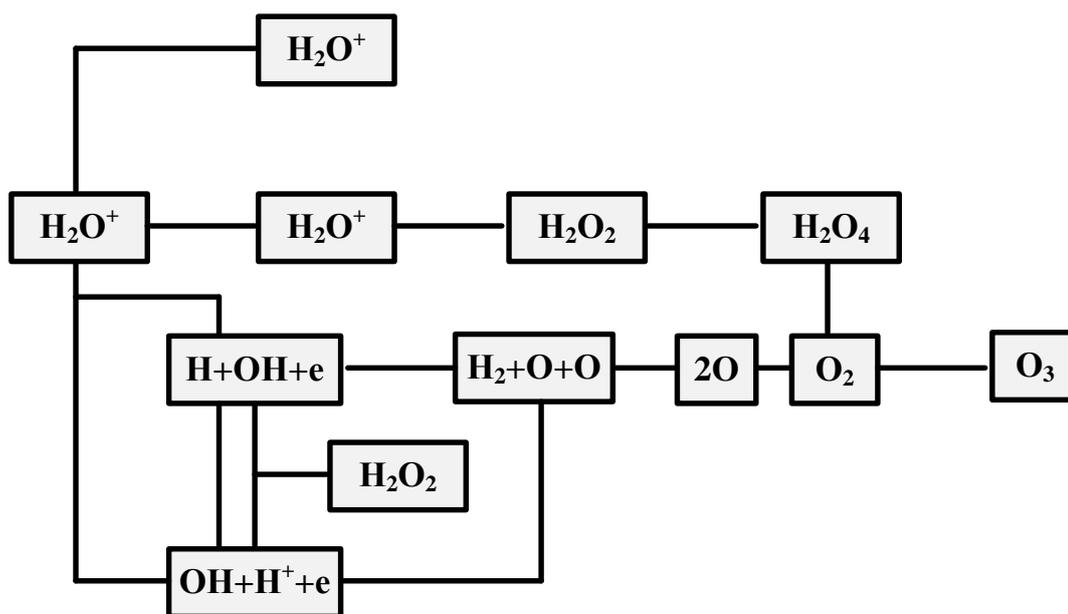


Рисунок 7 – Схема разложения молекулы воды при кавитационном воздействии

Гидродинамическая кавитация рассматривается как самостоятельный процесс обеззараживания [19]. Это объясняется образованием непосредственно в зоне кавитационного факела экстремальных условий, связанных со схлопыванием парогазовых микросфер, которые появляются в момент локального снижения давления в воде и схлопываются при его повышении. Скорость схлопывания очень высокая, и в окрестности зон схлопывания в локальных объемах возникают экстремальные параметры – огромные температура и давление, создаются условия для образования активных радикалов и в небольшом количестве пероксида водорода [36].

Таким образом за счет образования трех форм активного кислорода которые, в конечном итоге, способны окислить растворенное железо находящееся в воде.

Эффективность окислительного действия кавитации зависит от ее интенсивности и времени воздействия. [16].

Таким образом, можно сказать, что изучение технологий на основе гидродинамических кавитационных процессов показывает их перспективность в поиске новых методов обезжелезивания воды.

Данный метод можно рассмотреть как потенциальный. Для полного анализа требуется сравнительная характеристика по качеству получаемой воды и ее себестоимости. Для проведения сравнительного анализа эффективности предлагаемого метода с существующим, целесообразно провести лабораторный анализ.

1.3.4.2 Патентный обзор

Для сельского населения и жителей поселков, удаленных от центральных станций водоподготовки питьевая вода или отсутствует, или становится очень дорогой и невостребованной, поскольку прокладка магистралей и строительство централизованных станций водоочистки

является очень затратным и долговременным мероприятием, а вода питьевого качества, расход которой на питьевые нужды составляет 5-7% от общего объема водопотребления, оказывается невостребованной из-за высоких тарифов по цене.

По этой причине разработка новых доступных методов получения воды питьевого качества и производство автономных станций для их осуществления с целью обеспечения населения районов стихийных бедствий и удаленных сельских поселений субъектов Российской Федерации водой питьевого качества, а также обеспечение чистой водой социально-значимых объектов (школы, детские сады и больницы), является весьма актуальной задачей.

Известен способ обратноосмотического обессоливания воды, включающий введение в обрабатываемую воду добавок с последующей фильтрацией воды через обратноосмотическую мембрану, причем в качестве добавок используют инертные частицы углерода, например фуллерена или сажи [Описание изобретения к патенту РФ № 2216521 от 04.01.2003, МПК⁷ C02F 1/44, опубл. 20.11.2003]. Способ предотвращает загрязнение пермеата добавляемыми в процессе обессоливания веществами и сокращает их расход.

К недостаткам способа следует отнести снижение производительности за счет забивания по истечении некоторого времени поверхности мембраны механическими частицами добавок.

Известен способ очистки природных вод, включающий две стадии механической обработки, опреснение обратным осмосом, после двух стадий механической обработки проводят дехлорирование сульфитом натрия, далее воду очищают микрофильтрацией и добавляют ингибитор, опреснение обратным осмосом проводят в две стадии, после первой стадии концентрат сбрасывают, а в пермеат добавляют ингибитор и едкий натр, повышая pH до 10,4, затем проводят вторую стадию опреснения обратным осмосом, причем концентрат после второй стадии обратного осмоса подмешивают в поток на

вход первой стадии опреснения, а в пермеат добавляют кислоту и пропускают его через фильтры-кондиционеры с кальциево-магниевой загрузкой [Описание изобретения к патенту РФ № 2225369 от 13.03.2003, МПК⁷ C02F 9/08, опубл. 10.03.2004]. Способ обеспечивает снижение капитальных затрат и затрат на обслуживание опреснительных станций, повышение качества очищенной воды-пермеата до уровня, соответствующего рекомендациям ВОЗ, в том числе по бору и солям жесткости.

К недостаткам этого способа следует отнести его многостадийность и сложность аппаратного оформления. Кроме этого производительность способа отличается нестабильностью и зависит от степени загрязнения обратноосмотических мембран.

Известен способ глубокого обессоливания пресных и солоноватых вод, включающий последовательные процессы по ступеням: осветление, обработку осветленной воды на ионообменных фильтрах и обессоливание в обратноосмотической ступени с отводом концентрата из каждой ступени очистки, при этом процесс обратноосмотического обессоливания ведут двухстадийно при более высоком давлении очищаемой воды на каждой последующей стадии обессоливания, причем давление очищаемой воды устанавливают на первой стадии не более 1,6 МПа и не более 4,0 МПа на последней стадии при отношении расходов пермеата к концентрату обратноосмотической ступени в пределах $n=7-99$, отвод концентрата из обратноосмотической ступени производят в каждой стадии на регенерацию ионообменных фильтров, а пермеат после обратноосмотической ступени очистки подвергают Н-ОН-ионированию [Описание изобретения к патенту РФ № 2283288 от 23.11.2004, МПК⁷ C02F 9/08, B01D 61/12, C02F 1/42, C02F 1/44, опубл. 10.09.2006]. Достижимые результаты - увеличение выхода пермеата, уменьшение расхода концентрата, повышение качества обессоленной воды, сокращение сбросов концентрата по ступеням

обессоливания и уменьшение расходов воды на собственные нужды установки.

К недостаткам способа, как и в предыдущем случае, следует отнести многостадийность и сложность аппаратного оформления, а также периодичность работы, связанную с необходимостью восстановления рабочих функций оборудования.

Также известен способ получения осветленной воды для питания водооборотных циклов аммиачного производства, заключающийся в заборе исходной воды, ее последующем осветлении, флокуляции, фильтрации от механических и взвешенных частиц и подаче на установку получения деминерализованной воды нанофильтрацией и обратным осмосом, а по мере загрязнения мембранных элементов проводят их очистку путем подачи и выдержки по времени моющих растворов: 50% серной кислоты и 42% щелочи или 20% гипохлорита натрия [Описание изобретения к патенту РФ № 2294794 от 25.11.2004, МПК В01D 61/14, С02F 9/08, С02F 1/52, опубл. 10.03.2007]. Использование изобретения обеспечивает получение качественной воды, пригодной для надежной и эффективной работы нанофильтрационных и обратноосмотических установок, используемых в схемах водоподготовок химических производств.

К недостаткам способа следует отнести большие капитальные затраты на подготовку воды к подаче в обратноосмотический блок.

Наиболее близким по совокупности существенных признаков заявляемому способу является способ очистки и обеззараживания воды, включающий последовательное выделение из нее в несколько стадий механических примесей и загрязнений с помощью двух напорных сорбционных фильтров и обратноосмотического блока, работающих с остановкой между рабочими циклами для гидравлической очистки мембранного элемента обратноосмотического блока и удаления концентрата, причем на время простоя напорный канал мембранного элемента (напорная емкость обратноосмотического блока) заполняют фильтратом (пермеатом)

[Описание изобретения к патенту РФ № 2360870 от 25.10.2007, МПК C02F 9/08, опубл. 10.07.2009]. Способ обеспечивает единичную производительность 250-500 дм³/час в течение 8-20 час/сутки для компактно расположенных коллективных пользователей, при обеспечении заданного по физико-химическим свойствам качества питьевой воды.

Несмотря на то, что этот способ получил широкое применение при обессоливании воды с различной исходной концентрацией растворенных веществ, как и все подобные методы разделения, он имеет существенные недостатки, к которым следует отнести его многостадийность, необходимость тщательной подготовки воды для обратноосмотической очистки, что влечет большие капитальные и эксплуатационные затраты, недостаточную производительность и, соответственно, сложность аппаратного оформления.

По этой причине разработка технологических схем, включающих обратноосмотическое обессоливание и управление режимами их эксплуатации с целью снижения капитальных и энергетических затрат, является первостепенной, актуальной и востребованной.

Задача, решаемая первым изобретением группы, и достигаемый технический результат заключаются в упрощении способа очистки и повышении его производительности до 250-60000 дм³/час в течение 8-20 час/сутки.

Для решения поставленной задачи и достижения заявленного технического результата в способе получения воды питьевого качества, включающем выделение из нее механических примесей и загрязнений с помощью фильтра механической очистки и обратноосмотического блока, работающих с остановкой между рабочими циклами для гидравлической очистки мембранного элемента обратноосмотического блока и удаления концентрата, причем на время технологического перерыва напорную емкость обратноосмотического блока заполняют пермеатом, при этом вначале из обрабатываемой воды с помощью фильтра выделяют механические примеси

с размером частиц более 5 мкм, после чего ее подают в напорную емкость обратноосмотического блока, при этом также осуществляют периодическую гидравлическую промывку мембранного элемента в течение рабочего цикла без остановки оборудования с интервалом, определяемым формулой: [47]

1.3.4.3 Аэрационная обработка воды

Аэрирование – суть этого процесса заключается в искусственном создании интенсивного воздухообмена, вследствие которого происходит насыщение воды кислородом, что приводит к очищению и нормализации химического состава питьевой воды. На рисунке 8 изображён принцип воздухообмена при аэрации.



Рисунок 8 – схема воздухообмена, вследствие которого происходит насыщение воды кислородом.

В зависимости от технологических особенностей процесса, выделяют три основных способа аэрации. Каждый из этих методов требует определенного оборудования, имеет разные особенности и этапы проведения. Рассмотрим детальнее каждый из них.

1.3.4.2.1 Напорная аэрация воды

Поскольку свободная реакция соединения молекул воды с кислородом протекает довольно медленно, для её ускорения используются специальные аэрационные колонны. Аэрационная колонна является герметичным баком, укомплектованным компрессором на входе, и фильтром для удаления окислившихся частиц железа на выходе.

Водопровод, который подключен к системе, наполняет бак водой, после чего срабатывает датчик потока, активирующий компрессор. Посредством компрессора в камеру через специальную трубу под сильным давлением подается воздух, который интенсивно взаимодействует с водой, окисляя двухвалентное железо.

Как только давление внутри бака достигает граничного предела, срабатывает датчик на клапане сброса, и происходит выведение лишнего количества воздуха и газов, вследствие чего давление нормализуется и продолжается работа устройства. После того как процесс аэрации закончен вода из баллона проходит через фильтрующую установку, которая задерживает окислившиеся частицы железа, и попадает в водопровод, транспортирующий её к устройствам потребления. В целом, среднестатистическая аэрационная напорная система состоит из следующего оборудования:

- Колонна для аэрации (герметичный баллон объемом от 100 до 500 литров)
- Компрессор высокого давления;
- Датчик потока воды;
- Датчик уровня давления;
- Оголовок колонны, укомплектованный специальным клапаном для сброса внутрибаллонного давления;

Аэрация воды напорным методом позволяет выполнить эффективную очистку воды от двухвалентного железа.

Детально изучив все особенности аэрации под давлением можно выделить следующие преимущества этого метода;

Напорная обработка воды (давление внутри системы составляет от 2 до 6 атмосфер) гарантирует её максимальное взаимодействие с кислородом и, как следствие, наилучшее окисление железа.

Баллоны для напорной аэрации достаточно компактны, такие устройства могут быть применены в бытовом использовании;

При выходе не происходит потери давления воды в водопроводе;

Единственным существенным минусом является более высокая стоимость оборудования, в сравнении с безнапорной аэрацией.

Данный метод можно рассмотреть как потенциальный. Для полной рекомендации требуется сравнительная характеристика по качеству получаемой воды и ее себестоимости.

1.3.4.2.2 Безнапорная аэрация воды

Суть данного метода заключается в том, что вода при попадании в герметичную аэрационную емкость распыляется форсунками, что обеспечивает её разделение на мельчайшие капельки, которые во время полета от верхней точки к поверхности воды получают необходимый уровень взаимодействия с кислородом для окисления молекул двухвалентного железа.

Примерная схема подключения устройства для аэрации и насоса. Кроме того происходит дополнительное насыщения воды кислородом: за это отвечает специальный компрессор, который подает воздух в самую толщу воды (для сравнения приведем устройство производящее пузырьки в аквариуме).

Это также позитивным образом влияет на окисление, так как вода перемешивается и пропитывается дополнительным количеством воздуха.

Стоит отметить, что в отличие от напорного метода, в безнапорной аэрации из-за распыления входных потоков воды происходит снижение её давления на выходе.

Для того чтобы слабый поток воды в трубопроводе не доставлял вам дополнительных неудобств, актуальным является приобретение дополнительной насосной станции, которая будет нормализовать давление в водопроводе.

Отметим, что современные аэрационные устройства изначально комплектуются такими насосами.

Окислившееся железо оседает на дне аэрационного бака, что обуславливает необходимость его очистки с периодичностью в 3 месяца (если вода слишком загрязненная – чаще).

Системы для безнапорной аэрации комплектуются следующим оборудованием:

- Рабочая емкость (герметичные бак объемом от 400 до 700 л.);
- Форсунки для распыления воды;
- Низконапорный компрессор и набор аэраторов, для подачи кислорода в водный слой;
- Насос для увеличения давления выходного потока;
- Гидроаккумулятор;
- Блок управления системой.

Схема аэратора изображена на рисунке 9.

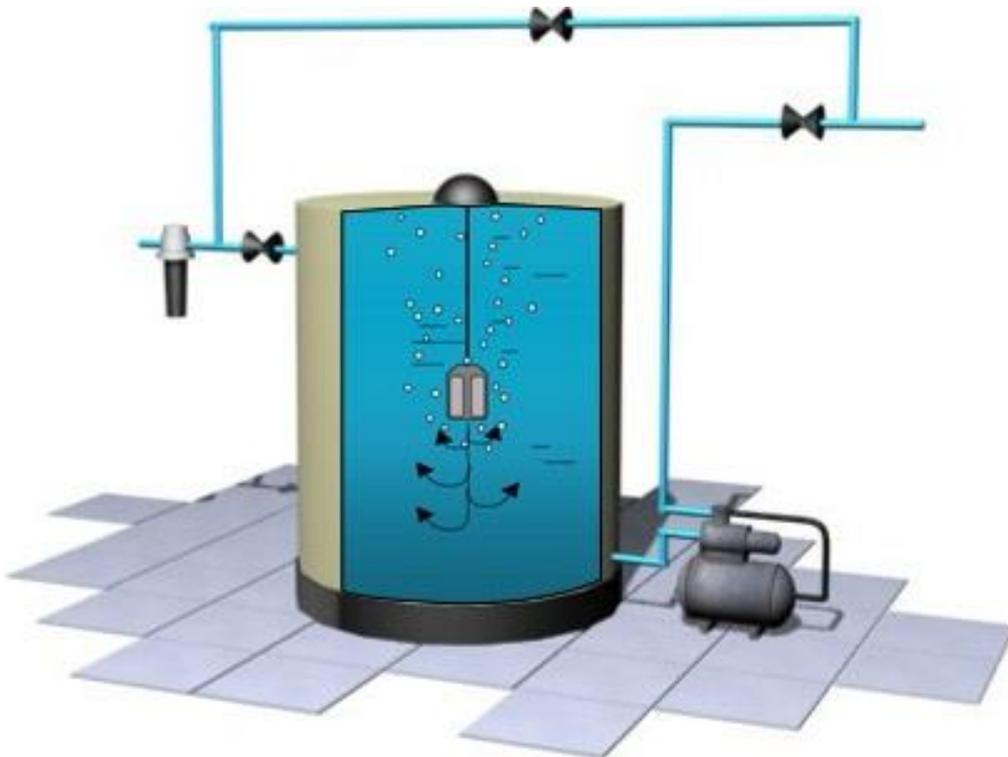


Рисунок 9 - схематичное устройство аэратора.

Несмотря на наличие существенных недостатков, метод безнапорной аэрации был и остается самым популярным промышленным способом обезжелезивания воды. Рассмотрим детальнее его плюсы и минусы.

Преимущества:

Высокая производительность (можно обрабатывать около 5 тыс. куб. метров воды за сутки)

- Довольно низкая себестоимость водоподготовки.

Недостатки:

-Необходимость дополнительного оборудования для поддержания нормального давления потока воды в трубопроводе, вследствие чего повышается уровень шума всей системы, так как насос довольно громко работает;

-Отсутствие самоочищения системы, (если вы не будете выполнять регулярную очистку бака своими руками, в осевшем слое железа и серы могут развиваться вредные бактерии);

-Большие размеры оборудования.

- Качество получаемой воды напрямую зависит от исходной. Степень очистки ниже, чем, при использовании напорной аэрации.

Данный метод не рекомендуется рассматривать как потенциальный, ввиду его низкой эффективности.

1.3.4.2.3 Эжекторная аэрация воды

Это наиболее распространенный в бытовом использовании метод аэрации, так как он не требует дорогостоящего и крупногабаритного оборудования.

Аэрационная установка в данном случае представляет собою компактное устройство, которое работает за счет энергии потока вода в трубопроводе, и не требует подключения к электросети.

Такие механизмы построены по принципу Вентури: вследствие применения в конструкции эжектора сопла Вентури, в трубе образовывается зона низкого давления, которая провоцирует засасывание пузырьков воздуха через специальное отверстие.

Компрессор для аэрации. При этом движение воды наружу, сквозь это отверстие, невозможно, так как устройство оборудовано обратным клапаном защиты. В большинстве случаев данный метод не предусматривает использования аэрационной колонны и дополнительного оборудования, а насыщение воды кислородом происходит исключительно через эжектор, после чего вода выводится непосредственно на фильтрующее устройство.

Разумеется, такая аэрация не может соперничать с более продвинутыми безнапорными и напорными способами ни по эффективности, ни по количеству обрабатываемой воды, однако для домашнего использования, при удовлетворительном, в целом, изначальном качестве воды, данный способ вполне подходит.

Данный метод не рекомендуется рассмотреть как потенциальный ввиду того, что данный метод значительно уступает по характеристикам, уже рассмотренным методам.

2 Объекты и методы исследования

2.1 Экспериментальное исследование и результаты

Для проведения качественного анализа потенциальных методов необходимо провести лабораторный анализ выбранных методов.

Данные методы были апробированы в лабораторных условиях. Основной задачей экспериментальных исследований являлось фиксация изменения концентрации уровня железа в воде, для выявления наиболее конкурентоспособного метода.

Основной задачей экспериментальных исследований являлось определение безреагентного метода повышения безопасности системы водоснабжения комплекса водоподготовки воды комплекса с разработкой полной технологической схемы.

В ходе научной работы была проведена серия экспериментов, включающая:

– совместное использование кавитационной установки и фильтров, варьировании различных параметров оборудования, позволяющее достичь максимального эффекта водоподготовки. Опыт включает серию экспериментов.

В качестве основного оборудования для научно-исследовательской деятельности был использован лабораторный стенд кавитационной установки.

Конструкция усовершенствованного лабораторного блендера основана на применении в качестве рабочего органа суперкавитирующей крыльчатки. Известно, что количество и размеры кавитационных пузырьков, генерируемых за СК-крыльчаткой, не зависят от количества и спектр ядер кавитации в жидкости, а определяются гидродинамическими параметрами течения (скорость обтекания лопастей, температурой, длиной образующейся суперкаверны и т.д.). Изменяя параметры, можно регулироваться размеры и

количество кавитационных пузырьков, а, следовательно, и степень кавитационной обработки на жидкую среду. В качестве рабочего органа генератора кавитации использована двухлопастная крыльчатка с клиновидным профилем с различными углами раскрытия клина. Рабочие числа оборотов регулировались до 11000 об/мин. Схема управления позволяет плавно изменять частоту вращения ротора, поддерживать число оборотов независимо от изменяющейся нагрузки и фиксировать время обработки. Мощность электродвигателя $N_{эл} = 270$ Вт, емкость реактора 300 мл. СК-винт изготавливался из алюминиевого сплава Д16Т. Основной и дополнительный гидротормоз препятствует циркуляционному движению воды в направлении вращения вала, повышая эффективность кавитационной обработки. [29].

Кавитационная обработка воды была исследована в виде активации кавитационных эффектов в сочетании с фильтрованием. Для опыта, в качестве основного оборудования, был использован лабораторный стенд кавитационной установки (лабораторный блендер) для «активации» кавитации и фильтр обеззоленный (белая лента). На рисунке 10 изображена схема лабораторного блендера и схема схлопывания пузырька в блендере.

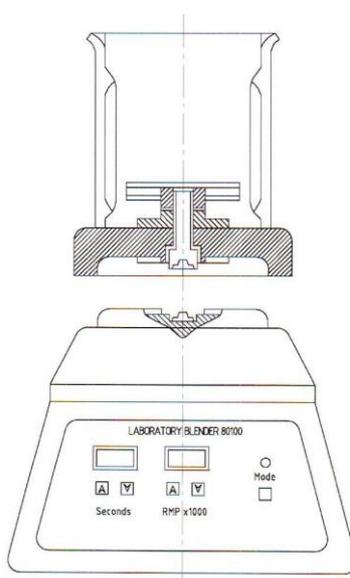


Рисунок 10 – Схема лабораторного кавитационного блендера

Одним из направлений безреагентной обработки является использование гидродинамических воздействий.

Достаточно сильное гидродинамическое возмущение можно вызвать с помощью процесса кавитации. Метод кавитационного воздействия активно применяют для обезжелезивания воды. Осуществление этого метода не требует создания дорогостоящего оборудования и больших энергозатрат.

Известно, что количество и размеры кавитационных пузырьков, генерируемых за СК-крыльчаткой, не зависят от количества и спектра ядер кавитации в жидкости, а определяются гидродинамическими параметрами течения (скорость обтекания лопастей, температурой, длиной образующейся суперкаверны и т.д.). Изменяя данные параметры, можно регулировать размеры и количество кавитационных пузырьков и, следовательно, степень кавитационной обработки на жидкую среду. В качестве рабочего органа генератора кавитации использована двухлопастная крыльчатка с клиновидным профилем с различными углами раскрытия клина. Рабочие числа оборотов регулировались до 11 000 оборотов в минуту и временем обработки от 0,5 до 3 минут. Схема управления позволяет плавно изменять частоту вращения ротора, поддерживать число оборотов независимо от изменяющейся нагрузки и фиксировать время обработки. Мощность электродвигателя $N_{эл} = 270$ Вт, емкость реактора 300 мл. СК-винт изготавливался из алюминиевого сплава Д16Т. Основной и дополнительный гидротормоз препятствует циркуляционному движению воды в направлении вращения вала, повышая эффективность кавитационной обработки. На рисунке 11 запечатлен работающий, лабораторный кавитатор и опытные образцы воды. [29].



Рисунок 11 - Кавитатор лабораторный и опытные образцы воды после обработки.

Для проведения экспериментальных исследований был выполнен забор проб воды из скважины на Рыбинской ЛПДС.

Уровень железа в воде до обработки соответствовал 2,3 мг/дм.

В ходе научной работы была проведена серия экспериментов. Опытные образцы воды подвергались обработке шести видов.

- В первом случае, вода пропусклась через картридж для удаления железа, использующийся на станции.

- Во втором, вода обрабатывалась при 3 000 оборот в минуту в течении 30 секунд + фильтр.

- В третьем, при 3 000 оборот в минуту в течении 60 секунд + фильтр.

- В четвертом, при 7 000 оборот в минуту в течении 60 сек + фильтр.

- В пятом, при 7 000 оборот в минуту в течении 180 сек. + фильтр.

- В шестом, 11 000 оборот в минуту в течении 60 сек.+ фильтр.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рисунке

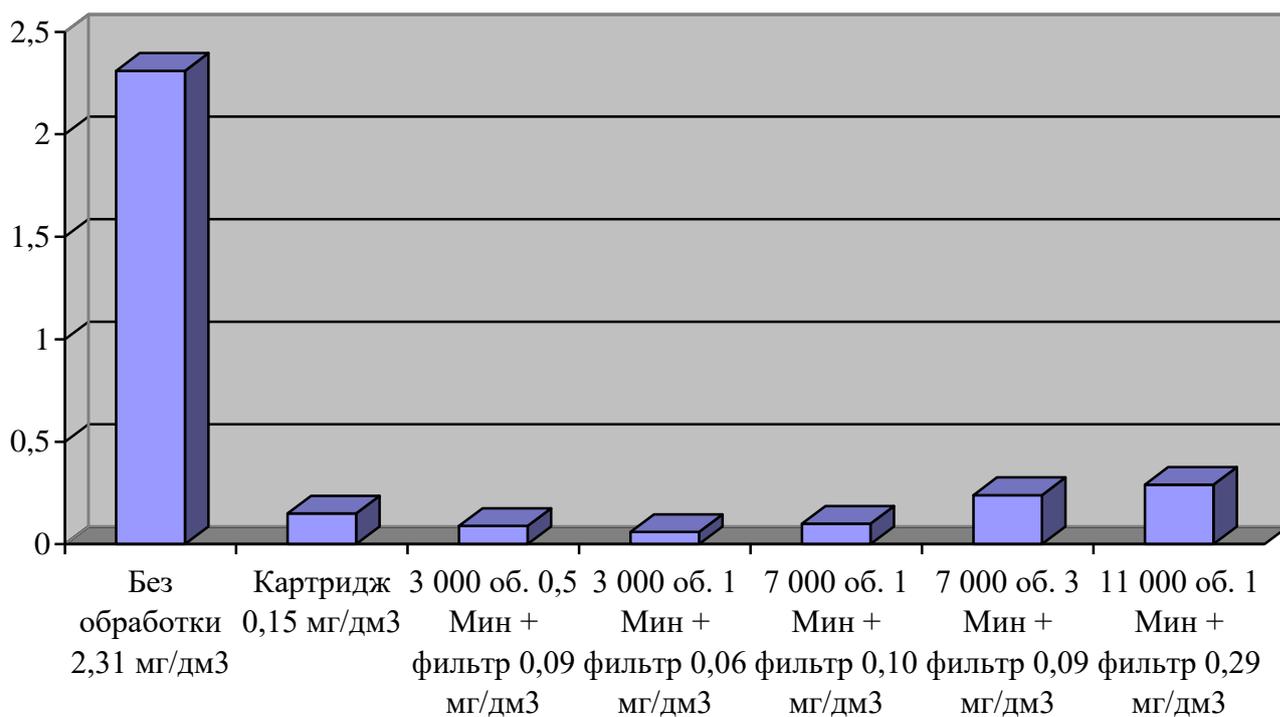


Рисунок 12 – Изменение концентраций железа после кавитационной обработки.

Лабораторный анализ выявил, при использовании кавитационной обработки воды уровень железа в воде снижается, но наиболее эффективный результат наблюдается при 3 000 оборотах в мин., в течении 60 секунд происходит максимальное снижение уровня железа. После каждого опыта с кавитационной обработкой уровень концентрации железа в воде, стал соответствовать требованию, предъявляемому к питьевой. Наибольшее снижение наблюдалось при обработки 3 000 оборотов в течении 60 секунд.

Несмотря на некоторое отличие результатов, уровень концентрации железа в результате каждого опыт с применением кавитационной обработки, достиг уровня в пределах ПДК, установленной требованиям СанПин к питьевой воде.

Однако, время кавитационной обработки так же неоднозначно влияет на конечный результат. Не всегда увеличение времени и скорость обработки ведет к увеличению эффекта.

Таким образом, экспериментально доказано, что кавитационные эффекты можно использовать для снижения концентрации железа в воде.

Для сравнения аэрационной обработки с кавитационной, проведен второй лабораторный анализ. В отличие от предыдущего опыта, вода подвергался аэрационной обработке на уже установленном оборудовании. В настоящее время на Пойменской НПС применяется установка напорной аэрационной «Aqua Sell». В качестве опытных образцов для второго опыта, были взяты два образца воды:

- из скважины (до обработки);
- после обработки на аэрационной установке.

На рисунке 13 изображена применяемая установка.



Рисунок 13 – Установка аэрационной обработки воды напорным методом на Пойменской НПС.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рисунке

14.

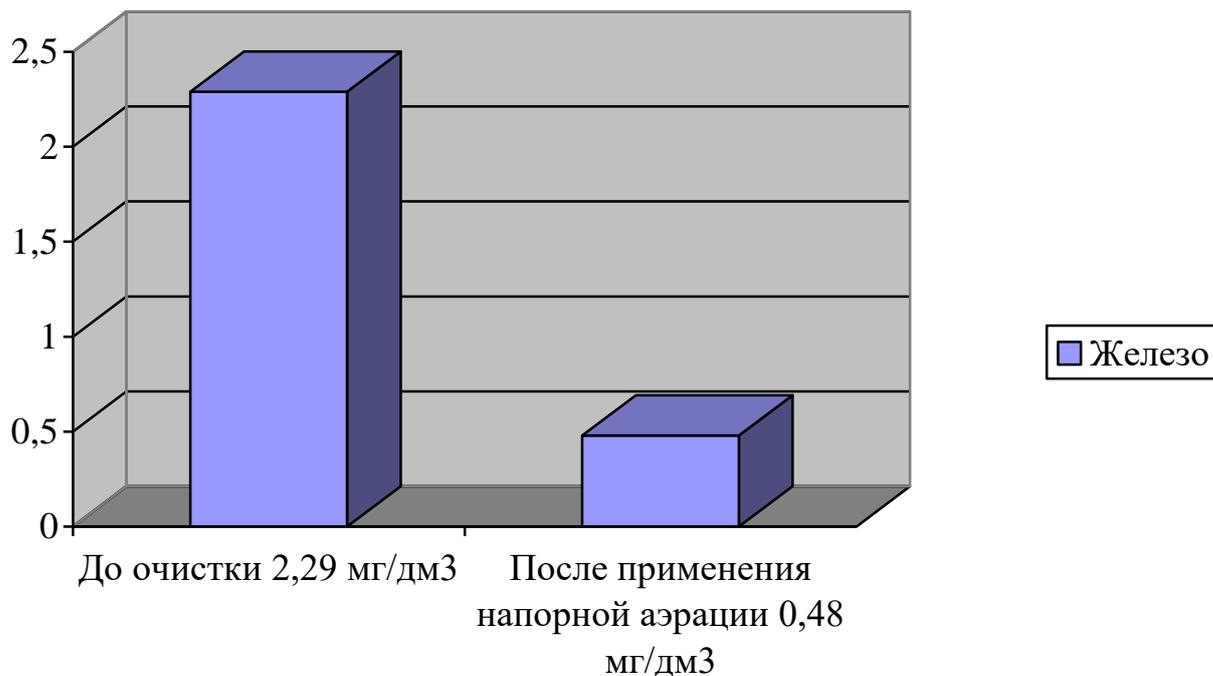


Рисунок 14 – Изменение концентраций железа до и после аэрационной обработки.

Лабораторный анализ выявил, при использовании аэрационной обработки воды уровень железа снижается на 81 %, но его уровень не удовлетворяет требованиям СанПиН 1074-01. После аэрационной установки, необходима дополнительная доочистка от компонентов железа.

Сравнительный анализ качества очистки воды кавитационной и аэрационной обработки воды представлен в процентном соотношении на рисунке 15.

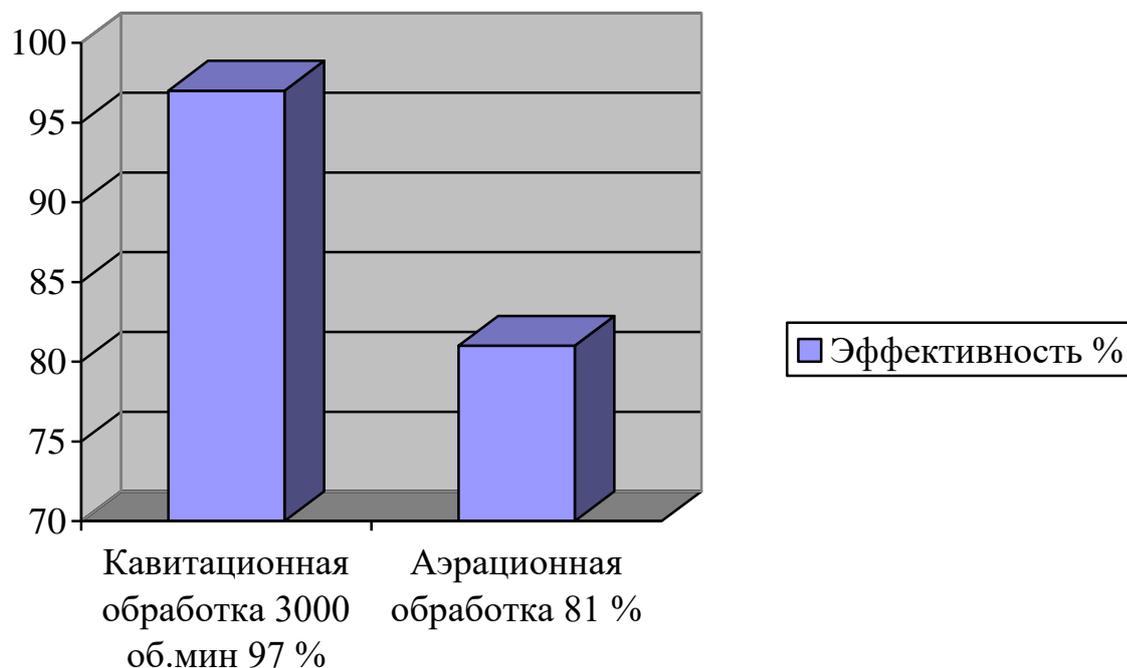


Рисунок 15 – Эффективность применения обработки воды исследуемых методов.

Из диаграммы видно, что кавитационная обработка более эффективна.

Таким образом, экспериментально доказано, что кавитационная обработка, достаточно эффективна для очистки воды от компонентов железа, до уровня ПДК, в отличие от аэрационной. Такое преимущество достигается благодаря более глубокому окислительному воздействию на растворенное железо.

Количество железа в воде после водоподготовки напорной аэрацией не достигло предела ПДК. Данный метод не подходит для цели работы, в связи с необходимостью дополнительного этапа очистки от железа до предела ПДК и, как следствие, дополнительных затрат. В дальнейшем, в работе будет рассматриваться метод обезжелезивания кавитационной обработкой воды.

2.1 Предлагаемая схема внедрения водоподготовки

С целью снижения повышения безопасности и сжижения компонента железа в воде предлагается в стадию водоподготовки включить блок кавитационной обработки с песчаным фильтром, и накопительным резервуаром взамен используемых картриджей. Данный метод позволяет достичь уменьшить количество железа в воде.

Сравнение эффективности очистки предлагаемого метода произведено со используемой установкой очистки (картриджами), так как это наиболее распространенный способ, которым подготавливают воду. Основным недостатком предлагаемой установки является непостоянность процесса окисления, на разных оборотах, был получен разный результат, так эффективность процесса может колебаться в довольно широких пределах: от 20 до 85%, но при точной настройке оборудования перед началом использования помогает достичь постоянного достигаемого эффекта [15].

Преимуществом данного способа очистки можно считать простоту исполнения данного способа и то, что этот метод является безреагентным, с использованием эффектов гидротермодинамической кавитации. К недостаткам следует отнести:

- затруднительно провести расчет оптимальных технологических параметров, оптимальные технологический режим чаще всего устанавливают опытным путём;
- высокую чувствительность к нарушениям технологических параметров очистки.

Однако предлагаемый способ кондиционирования позволит добиться более высокой степени очистки воды достигающей практически 100%, для проведения очистки 1 м³ предлагаемым способом необходимо затратить 0,016кВт электроэнергии.

Экспериментально доказано, что эффективность обезжелезивания с

применением кавитационных эффектов выше, чем с использованием картриджей.

Для применения на предприятии предлагается использовать кавитационную установку «УКП-14-07». На рисунке 16 изображен кавитатор (лопастного типа) «УКП-14-07».

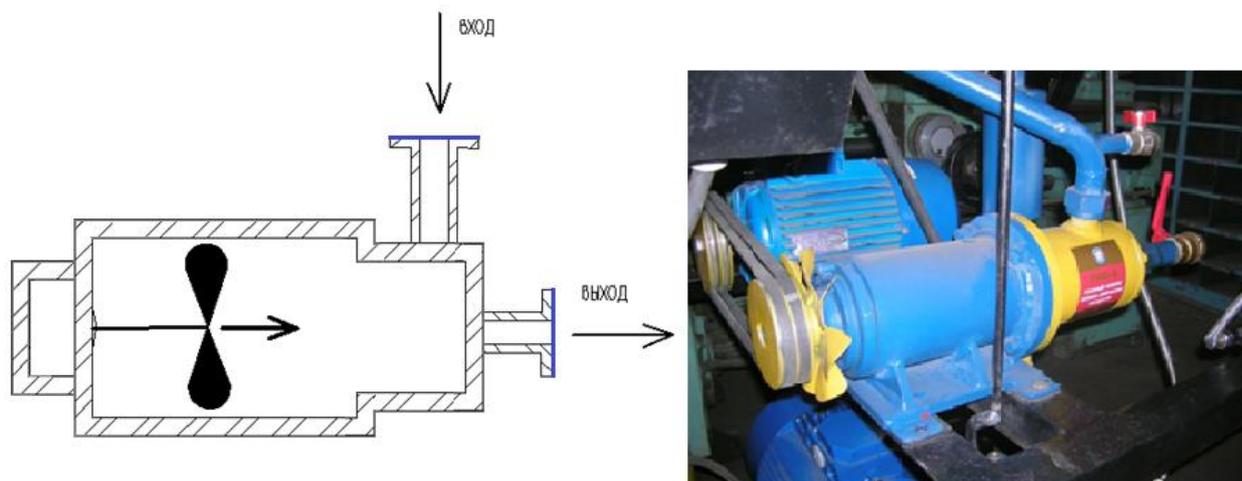


Рисунок 16 - Схематичное изображение и фотография установки «УКП-14-07».

В местах контакта жидкости с быстро движущимися твердыми объектами (винтами) происходит локальное изменение давления. Если давление в какой-то точке падает ниже давления насыщенного пара, происходит нарушение целостности среды. Затем, когда жидкость попадает в область с более высоким давлением, происходит «схлопывание» пузырьков пара, что сопровождается шумом, а также появлением микроскопических областей с очень высоким давлением. Если зона пониженного давления оказывается достаточно обширной, возникает кавитационная каверна - полость, заполненная паром. Таким образом, на данном устройстве возникает эффект кавитации в воде.

С конструктивной точки зрения целесообразным представляется частичная реконструкция существующих технологической схем водоподготовки. Предлагаемое конструктивное решение возможно устанавливать на первичной стадии, до установки обратного осмоса. Такое решение позволит интенсифицировать процесс окисления растворенного

железа до трехвалентного нерасворенного и, при помощи фильтра, получить, необходимый уровень железа в воде. Накопительный резервуар обеспечит необходимый объем подготовленной воды для исключения ее дефицита.

Для применения данного метода очистки рекомендовано интегрировать следующую технологичную схему с внедрением кавитатора, фильтра и накопительного резервуара, взамен первого этапа очистки, в существующую систему водоснабжения.

Предлагаемая схема внедрения этапа водоподготовки изображена на рисунке 17.

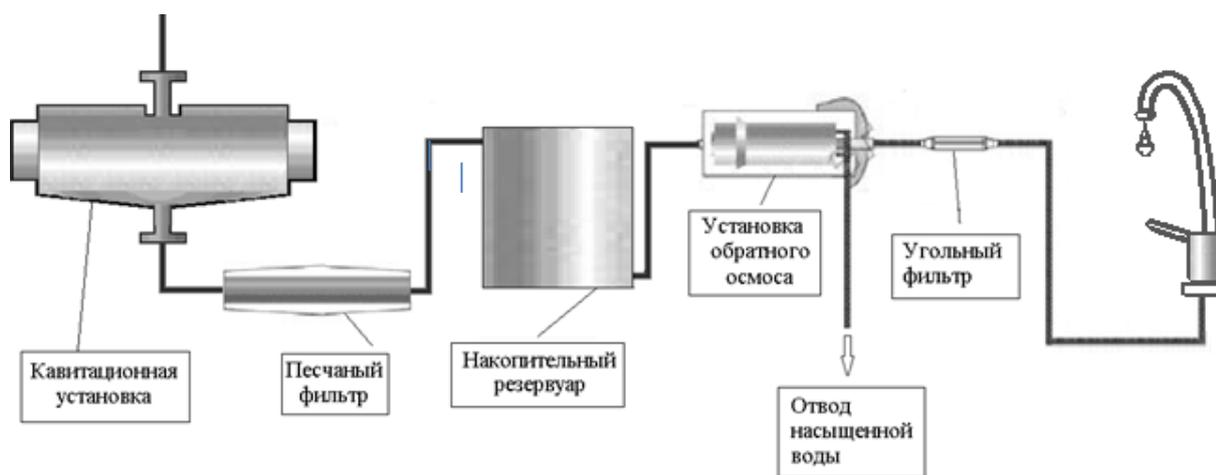


Рисунок 17 – Схема внедрения водоподготовки.

Вода поступает в кавитационное устройство, при полном заполнении задвижки перекрывают подачу воды на время обработки, после высокоскоростной обработки задвижка выхода открывается, и вода поступает на фильтрацию. После очистки от железа вода поступает в накопительный резервуар, после чего подвергается второму и третьему этапу водоподготовки.

Данное техническое решение планируется к патентованию и получении лицензии для использования в хоз. питьевом значении. Для патента – габариты. Для лицензии – режим работы.

3 Расчет риска

Оценка риска здоровью является одним из элементов методологии анализа риска, включающей в себя оценку риска, управление риском и информирование о риске. В научном отношении оценка риска здоровью - это последовательное, системное рассмотрение всех аспектов воздействия анализируемого фактора на здоровье человека, включая обоснование допустимых уровней воздействия. Оценка риска для здоровья человека - это количественная и/или качественная характеристика вредных эффектов, способных развиться в результате воздействия факторов среды обитания человека на конкретную группу людей при специфических условиях экспозиции. [36]

Наблюдения за качеством воды водоисточников полученные в рамках государственного санитарно-эпидемиологического надзора на исследуемом предприятии, рассчитанные количественные и качественные характеристики риска здоровью населения, связанного с употреблением воды, служат значимой информацией в условиях внедрения риск-ориентированной модели надзорной деятельности в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и в зависимости от степени опасности деятельности хозяйствующего субъекта для здоровья работников являются дополнительным критерием для выбора приоритетных объектов при планировании. [36]

Риск для здоровья - вероятность развития угрозы жизни или здоровью человека либо угрозы жизни или здоровью будущих поколений, обусловленная воздействием факторов среды обитания. Безопасность - высокая вероятность отсутствия вредного эффекта при определенном режиме и условиях воздействия анализируемого химического вещества. На практике соответствует либо отсутствию риска, либо его приемлемым уровням. [36]

Доза - основная мера экспозиции, характеризующая количество

химического вещества, воздействующее на организм. Зависимость "доза-ответ" - корреляция между уровнем экспозиции (дозой) и долей экспонированной популяции, у которой развился специфический эффект. Зависимость "экспозиция-ответ" - связь между воздействующей дозой (концентрацией), режимом, продолжительностью воздействия и степенью выраженности, распространенности изучаемого вредного эффекта в экспонируемой популяции. [36]

Канцерогенный потенциал (фактор наклона, фактор канцерогенного потенциала, SF) - мера дополнительного индивидуального канцерогенного риска или степень увеличения вероятности развития рака при воздействии канцерогена. Определяется как верхняя 95% доверительная граница наклона зависимости "доза-ответ" в нижней линейной части кривой. Единица измерения: $1/(\text{мг}/(\text{кг} \times \text{день}))$ или $(\text{мг}/(\text{кг} \times \text{день})^{-1})$.

Канцерогенный риск - вероятность развития злокачественных новообразований на протяжении всей жизни человека, обусловленная воздействием потенциального канцерогена. Канцерогенный риск представляет собой верхнюю доверительную границу дополнительного пожизненного риска. [36]

Канцерогенный эффект - возникновение новообразований при воздействии факторов окружающей среды. [36]

Коэффициент опасности (HQ) - отношение воздействующей дозы (или концентрации) химического вещества к его безопасному (референтному) уровню воздействия. Неблагоприятный (вредный) эффект - изменения в морфологии, физиологии, росте, развитии или продолжительности жизни организма, популяции или экологической системы, проявляющиеся в ухудшении функциональной способности или способности компенсировать дополнительный стресс, или в увеличении чувствительности к другим воздействиям факторов окружающей среды. [36]

Предельно допустимый риск - верхняя граница приемлемого риска, превышение которой требует применения дополнительных мер по его

снижению. Приемлемый риск - уровень риска развития неблагоприятного эффекта, который не требует принятия дополнительных мер по его снижению, и оцениваемый как независимый, незначительный по отношению к рискам, существующим в повседневной деятельности и жизни населения. [36]

Поступление химических веществ обычно рассчитывается по формулам, учитывающим воздействующие концентрации, величину контакта, частоту и продолжительность воздействий, массу тела и время осреднения экспозиции. [36]

3.1 Оценка риска возникновения канцерогенных эффектов

Характеристика канцерогенного риска осуществляется поэтапно:

Обобщение и анализ всей имеющейся информации о вредных факторах, особенностях их действия на организм человека, уровнях экспозиции. В данном случае вредным фактором является вероятность возникновения таких хронических заболеваний как:

- сидероз (отложение железа в тканях и органах);
- головные боли, головокружения, повышенная утомляемость, слабость;
- гиперпигментация кожи;
- различные диспептические явления (изжога, тошнота, рвота, боли в желудке, запор, диарея и пр.);
- угнетение клеточного и гуморального иммунитета и увеличение риска развития различных заболеваний;
- печеночная недостаточность, фиброз печени;

Расчет индивидуального канцерогенного риска для каждого вещества, поступающего в организм человека анализируемыми путями: в рассматриваемом примере присутствует пероральное поступление вещества

- Расчет индивидуального канцерогенного риска для каждого канцерогенного компонента исследуемой смеси химических веществ, а также

суммарного канцерогенного риска для всей смеси: В данной работе единственным веществом, превышающим требования СанПиН 1074-01, является железо. [36]

Таким образом, расчет производим суммарных канцерогенных рисков для каждого из анализируемых путей поступления, а также общего суммарного канцерогенного риска для всех веществ и всех анализируемых путей их поступления в организм.

Расчет индивидуального канцерогенного риска осуществляется с использованием на основе данных о величине экспозиции.

Стандартная формула для расчета риска возникновения негативных эффектов на здоровье человека, на основании средней суточной дозы и стандартные значения факторов экспозиции при пероральном поступлении химических веществ с питьевой водой.

$$I = (C_w \times V \times EF \times ED) / (BW \times AT \times 365) * 100\%$$

где,

I – риск возникновения негативных эффектов на организм человека, при поступлении веществ с питьевой водой, мг/(кг×день);

C_w - Концентрация кратности вещества в воде, (мг/л / ПДК);

V - Величина водопотребления, л/сут. (2 л/сут.; дети 1 л/сут.);

EF - Частота воздействия, дней/год (350 дн./год);

ED - Продолжительность воздействия, лет (Для железа: 15 лет; дети: 6 лет);

BW - Масса тела, мг/кг (70 кг; дети: 15 кг);

AT - Период осреднения экспозиции, лет (30 лет; дети: 6 лет; канцерогены: 70 лет);

Таким образом, при концентрации железе в воде на уровне 2,3 мг/л (до очистки) составляет [36]

$$I = ((2,3/0,30) \times 2 \times 350 \times 30) / (70 \times 30 \times 365) * 100\% = 21\%$$

Риск возникновения негативных эффектов на организм человека, при поступлении питьевой водой, с концентрацией железа 2,3 г/л, составляет 21 %. Что является умеренно высоким.

Риск, после водоподготовки картриджами (0,15 мг/л), рассчитан по следующей формуле:

$$I = ((0,15/0,30) \times 2 \times 350 \times 30) / (70 \times 30 \times 365) * 100\% = 1,4\%$$

Что является малым (от 1 до 5 %)

А риск, после внедрения новой схемы водоподготовки рассчитан по следующей формуле:

$$I = ((0,06/0,30) \times 2 \times 350 \times 30) / (70 \times 30 \times 365) * 100\% = 0,5\%$$

Что является минимальным (от 0 до 1 %)

Таким образом, достигается следующее снижение величины риска. На рисунке 18 изображена кривая снижения риска.

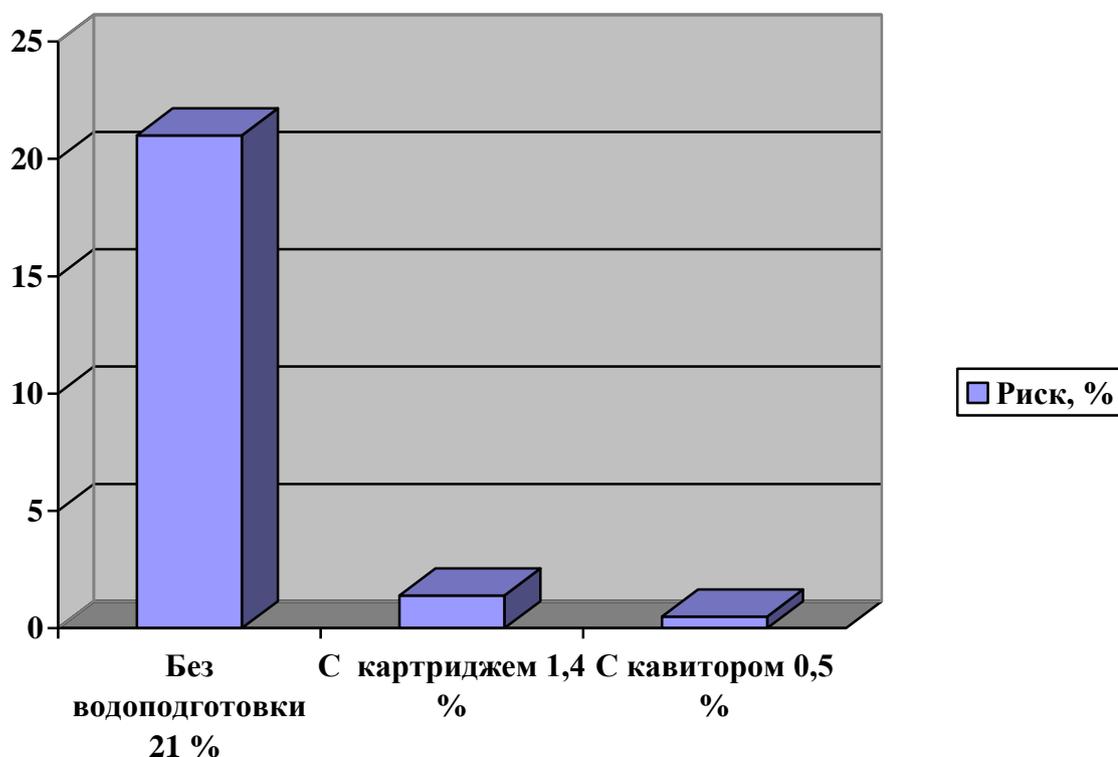


Рисунок 18 – Динамика изменения риска возникновения негативных эффектов на организм человека, от применения различных методов водоподготовки.

При проведении данных расчетов была доказана эффективность предлагаемых мероприятий.

Анализ рассмотренных выше характеристик снижения риска позволяет сделать вывод о том, что любое мероприятие, направленное на снижение риска, как правило, имеет свою «цену».

4 Расчет капитальных вложений на модернизацию схемы

ВОДОПОДГОТОВКИ

Современная технология водоподготовки должна быть экологичной, экономичной и эффективной. В данной работе предлагается технология очистки воды от железа до требований предъявляемых к питьевой воде в основе которой процесс окисления железа.

С целью оптимизации работы локальных систем подготовки воды, в стадию фильтрования предлагается включить кавитатор, фильтр и накопительный резервуар. Данный метод позволяет достичь требуемого нормативного качества очищенной воды.

Экспериментально показано, что высокие эффекты очистки воды свидетельствуют о целесообразности введения данного оборудования.

Технологическая схема включает: Кавитатор, фильтр и накопительный резервуар и исключает использование картриджа.

С точки зрения экономической целесообразности внедрения предлагаемой схемы водоподготовки следует исходить из значительного снижения затрат на замену картриджей.

Стоимость одного кавитатора (в т.ч. стоимость разработки и проектировки, материалов, установки, монтажа и настройки) составляет 230 000 рублей. Объем разовой загрузки воды 30 литров, время обработки 45 секунд. Кавитатор рассчитан минимум на 150 000 циклов обработок.

$$150\ 000 \text{ циклов обработок} \times 30 \text{ л.} = 4\ 500\ 000 \text{ л.} = 4\ 500 \text{ м}^3$$

$$230\ 000 \text{ руб.} / 4500 \text{ м}^3 = 51,12 \text{ руб/м}^3$$

Обслуживание данной установки в год составляет 4 000 рублей, расходы на электроэнергию в год и прочие расходы 1 000 рублей

(техническое обслуживание ООО «ЭкоСистема»)

$$5\,000 \text{ руб.} / 180 \text{ м}^3 = 27,78 \text{ руб./ м}^3$$

Общая стоимость обработки воды через кавитационное устройство составит:

$$51,12 \text{ руб./ м}^3 + 27,78 \text{ руб./ м}^3 = 78,9 \text{ руб./ м}^3$$

После кавитационной обработки вода пропускается через фильтр.

На рисунке 19 изображена схема движения воды в фильтрующей установке.

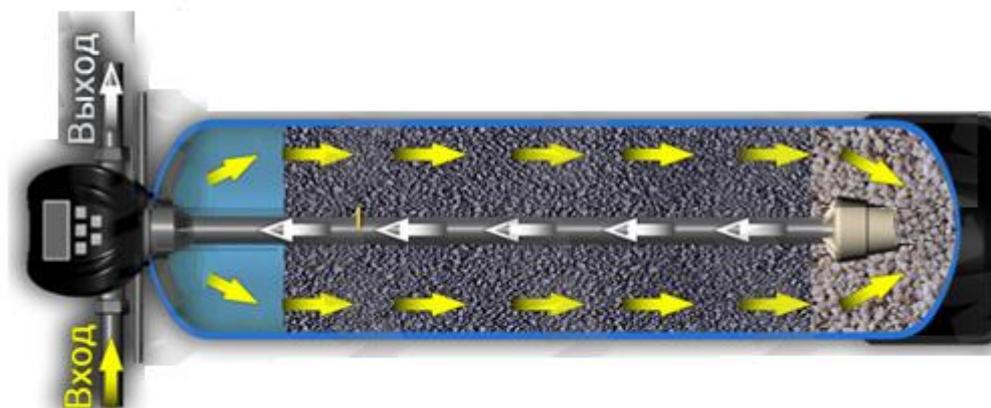


Рисунок 19 – Схема движения воды через фильтр.

Затраты на фильтрующую установку насыпного типа составят порядка 14 000 руб. Кварцевый песок необходимо менять каждые 350 м³ (т.е. два раза в год). Средняя стоимость одной замены с учетом работ составляет 3 000 руб. (1 500 руб. в год). Производитель гарнирует бесперебойную работу фильтра минимум на 30 перезаправок т.е. 10 800 м³. Таким образом, стоимость 1 м³, обработанного в данном фильтре составит:

$$(14\,000 \text{ руб.} / 10\,800 \text{ м}^3) + (3000 \text{ руб.} / 350 \text{ м}^3) = 9,87 \text{ руб./м}^3$$

После фильтра вода поступает в резервуар.

Предлагается использовать накопительный резервуар, он представляет собой цилиндрическую ёмкость на 500 л. Ширина (диаметр) 520 мм. Высота 1226 мм. Вес 16 кг. На рисунке 20 изображен накопительный резервуар. Стоимость такого оборудования (с учетом расходов на транспортировку и установку) 15 000 рублей. Приложение В - Движение водного потока в водном резервуаре.

Срок эксплуатации накопительного резервуара - 15 лет. В год на станции используется 180 м³. Таким образом, себестоимость использования накопительного резервуара на 1 м³ составит:

$$15\ 000\ \text{руб.} / (180\ \text{м}^3 \cdot 15\ \text{лет}) = 5.56\ \text{руб./м}^3 \quad (20)$$

Калькуляция затрат на внедрение данного этапа представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Калькуляция затрат

Оборудование	Стоимость оборудования рублей	Стоимость эксплуатации в первый год использования (180 м ³)	Стоимость 1м ³ за весь период эксплуатации и
Кавитатор	230 000	5 000	78,9
Фильтр	14 000	1 500	9.87
Накопительная емкость	15 000	0	5,56
Итого:	259 000	6 500	94,33

Стоимость внедрения рекомендованной схемы, с учетом средней стоимости используемого оборудования, составляет 259 000 руб. Стоимость водоподготовки 1 м³ составляет 94,33 руб./м³.

На сегодняшний день первый этап водоподготовки существующим методом оценивается в 273 руб./м³.. Предлагаемый метод экономичнее на:

$$273 \text{ руб./м}^3. - 95 \text{ руб./м}^3. = 175 \text{ руб./м}^3 \quad (21)$$

Срок окупаемости данного метода составляет 8 лет и 3 месяца

$$(259\,000 \text{ руб. м}^3 / 175 \text{ руб. м}^3 = 1\,480 \text{ м}^3 \text{ или } 1\,480 \text{ м}^3 / 180 \text{ м}^3 / \text{год} = 8,2 \text{ года} \quad (22)$$

Таким обрывом, переход с картриджей на новую установку является экономически выгодным, а качество полученной воды более высокое.

Анализ имеющихся в литературе данных выявил, что кавитационный эффект оказывает влияние не только на содержание железа, но и на другие загрязняющие вещества. На эффективность гидродинамической кавитации не влияет ни мутность, ни солевой состав воды, ни цветность исходной жидкости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Актуальность исследований, направленных на решение вопроса компоновки технологической схемы и подбора оборудования для природной воды от железа, обусловлена необходимостью снижения величины уровня железа до требования СанПиН 1074-01 и оптимизацией эксплуатационных затрат на водоподготовку.

1. В работе проведен анализ состояния подземных вод на территории Красноярского края, выявлено, что качественный состав воды отличен на разных местах ее добычи, но в целом наблюдается значительное повторение превышения предельной концентрации железа, при том, что кратность превышения по железу наибольшая в сравнении с другими загрязнителями. Освещено влияние долговременного употребления воды с высоким содержанием железа на организм человека.

2. Описан метод, применяемый на станции, проведен его стоимостной анализ, выявлен наиболее проблемный этап.

3. Предложены наиболее эффективные методы водоподготовки, способные заменить самый проблемный этап, на более эффективный.

4. Два наиболее оптимальных метода апробированы в лабораторных условиях и проанализирована их эффективность (в результате которого растворенная форма двухвалентного железа переходит в трехвалентную нерастворимую, и легко поддается простейшему фильтрованию). Изложены результаты проведенного качественного анализа эффективности описанных методов очистки, на основе которого доказана целесообразность применения, более преимущественного метода.

5. Разработана технологическая схема с внедрением кавитационного устройства, фильтра и накопительной емкости, в систему водоподготовки.

6. Рассчитано технико – экономическое обоснование и себестоимость водоподготовки 1 м³ на заменяемом этапе, рассчитан срок окупаемости внедрения.

Использование данного метода очистки позволяет безопасно, и в то же время экономически целесообразно, использовать подземную воду в качестве питьевой. Предлагаемый способ водоподготовки прост для реализации, и его несложно внедрить.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Айвени Р., Хэммит Ф. Численный анализ явления схлопывания кавитационного пузырька в вязкой сжимаемой жидкости / Теоретические основы инженерных расчетов. Сер. Д. М., 1965. – Т.87, № 4. – С. 140-150.
- 2 Алексеев Г.Н. Энергоэнтропика. М.: Знание, 1983. 192 с.
- 3 Биллет М., Холл Дж., Вейр Д. Корреляция термодинамических эффектов при развитой кавитации. Теорет. основы инженерных расчетов. 1981. – Т. 103, №4. – С. 119-156.
- 4 Ввозная Н.Ф. Химия воды и микробиология. М.: Высш. шк., 1979. 340 с.
- 5 Витенько Т.Н., Гумницкий Я.М. Механизм активирующего действия гидродинамической кавитации на воду. Химия и технология воды. 2007. – Т. 29, № 5. – С. 422-432.
- 6 Воинов О. В., Воинов В. В. О схеме захлопывания кавитационного пузырька около стенки и образования кумулятивной струйки./ ДАН СССР. 1976. – Т. 227, № 1. – С. 63-66.
- 7 Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. М.: Химия, 1986. 272 с.
181 Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. М.: Химия, 1978. 351 с.
- 8 Дубровская О.Г. Технология гидротермодинамической обработки природных и сточных вод с использованием эффектов кавитации: дис. ... канд. техн. наук : 01.04.14, 05.23.04. Красноярск, 2007. 134 с.
- 9 Дубровская О. Г., Л. В. Приймак, И. В. Андруняк Ресурсосберегающие технологии обезвреживания и утилизации отходов предприятий теплоэнергетического комплекса Красноярского края [Текст] : монография / О. Г. як ; Сиб. федер. ун-т, Инж.-строит. ин-т. - Красноярск : СФУ, 2014. - 163 с.

10. Дисс. Работа Иванова Светлана Анатольевна. Разработка технологии очистки природных вод от соединений бора, аммония и железа: диссертация ... кандидата технических наук: 05.17.01 / Иванова Светлана Анатольевна; [Место защиты: Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева]. - Москва, 2015. - 110 с.

11 Зажигаев Л.С., Кишьян А.А., Романников Ю.И. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента. М.: Атомиздат, 1978. – С. 66-68.

12 Запорожец Е.П., Холгошов Л.П., Зиберт Г.К., Артемов А.В. Исследование вихревых и кавитационных потоков в гидравлических системах / Теоретические основы химической технологии. 2004. – Т. 38, № 3.

13 Запорожец Е. П., Исследование вихревых и кавитационных потоков в гидравлических системах // Теор. основы хим. технологии. 2004. – Т. 38, № 3. – С. 243-252.

14 Зубрилов С. П. Ультразвуковая обработка воды и водных систем. Л.: Транспорт, 1973. 98 с.

15 Зубрилов С.П. Роль кислорода при ультразвуковой обработке водных дисперсий // Коллоидный журнал. – Т. 36. Вып. 2.1972. – С. 349-350.

16 Ивченко В. М. Гидродинамика многофазных жидкостей. Кавитация / КрПИ. Красноярск, 1980. 81 с.

17 Ивченко В. М. Элементы кавитационной технологии // Гидродинамика больших скоростей. Красноярск: КрПИ, 1982. Вып. 3. – С. 3-19.

18 Ивченко В. М., Кулагин В. А., Есиков С. А., Лаврик Н. Л. Кинетика кавитационного воздействия на элементы гидротехнических сооружений и гидроэнергетического оборудования // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. Л.: Энергоатомиздат. 1987. Т. 200. – С. 43-48.

19 Ивченко В. М., Кулагин В.А., Немчин А.Ф. Кавитационная технология/ под ред. Г.В. Логвиновича; Красноярск: изд-во КГУ, 1990. 200 с.

20 Ивченко В.М., Малимон Е.Д. Кинетика кавитационно-пузырьковых суспензий // Прикладная гидромеханика и теплофизика. Красноярск: КрПИ, 1975. – С. 50-60.

21 Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеиздат, 1984. 560 с.

22 Карелин В.Я. Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах. М.: Машиностроение, 1975. 345 с.

23 Кривошук А.С., Кулагин В.А. Изменение физико-химических свойств воды под воздействием гидродинамической кавитации // Социальные проблемы инженерной экологии, природопользования и ресурсосбережения: мат-лы НПК. Красноярск: ИПЦ КГТУ. 2003. – С. 61-74.

24 Кулагин В.А. Суперкавитационный миксер // Гидродинамика больших скоростей. Красноярск: Изд-во КрПИ. 1992. С. 134-140.

25 Кулагин, В.А. Суперкавитация в энергетике и гидротехнике. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2000. 107 с.

26 Кулагин В. А., Кулагина Т. А., Трошкин О. А. Гидродинамический кавитационный смеситель для биохимических исследований // Гидродинамика больших скоростей. Красноярск: КрПИ, 1992. С. 144-147.

27 Кулагин В.А. Гидродинамические воздействия на жидкости, золи, смеси и твердые границы потоков // Вестник КГТУ. Вып.8. Красноярск: КГТУ, 1997. – С. 26-43.

28 Кулагин В.А. Краевая задача сопряжения кавитационного пузырька в жидкости // Численные методы механики сплошной среды: Тез. докл. II Школы молодых ученых: Ч. 1. Красноярск: ВЦ СО АН СССР, 1989. – С. 77-79.

29 Кулагин В.А. Лабораторный суперкавитационный стенд // Гидродинамика больших скоростей. Красноярск: КрПИ, 1992. – С. 140-143.

30 Кулагин В.А., Закревский М.П. Гидротермодинамика пузырька в жидкости // II Вестник Ассоциации выпускников КГТУ. Вып. 2. Красноярск: КГТУ, 1999. – С. 145-155.

31 Кулагин В. А. Методы и средства технологической обработки многокомпонентных сред с использованием эффектов кавитации: автореф. дисс. . д-ра техн. наук. Красноярск, ИПЦ КГТУ, 2004. 47 с..

32 Климов, В.Я. Безреагентное обеззараживание воды. Экономика и управление предприятием ЖКХ. 2009. №7. – С. 68-72.

33 Николадзе, Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод [Текст] / Г.И. Николадзе. - Москва: Стройиздат, 1978. - 160 с.

34 Пааль Л.Л., Кору Я.Я. и др. Справочник по очистке природных и сточных вод. М.: Высшая школа, 1994. 116 с.

35 Перри Дж. Справочник инженера-химика. Пер. с англ. Л.: Химия, 1969. Т.1. 640 с.

36. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду, Human Health Risk Assessment from Environmental Chemicals, Руководство Р 2.1.10.1920-04

37 Флегентов, И.В. Дегтерев Б.И., Акчурин Р.Ю., Беляев А.Н. Гидродинамическая кавитация обеззараживает воду // Экология и промышленность России. 2000, №11. – С. 14-15.

38 Woods W.G. An introduction to boron: history, sources, uses, and chemistry. // Environ. Health Perspect, 1994. P. 5-11.

39 Weast R.C. CRC Handbook of Chemistry and Physics. 68th ed. // Boca Raton, FL: CRC Press Inc. (as cited in HSDB, 2003), 1988.

188 Станции водоподготовки [Электронный ресурс] // Мосводоканал [сайт]. URL: <http://www.mosvodokanal.ru> (дата обращения: 20.05.2016)

40 Jim Frederick. Economic Benefits of Utilizing Controlled Cavitation Technology for Black Liquor Oxidation and Heating. / Jim Frederick, Daniel Armstead, Steve Lien, Wolfgang Schmidl, Bijan Ka-zem – TAPPI Journal, January, 2002.

41 Wheeler, W. H. Indentation of metals by cavitation. Trans. ASME, Series D, 82, N1. 1960. – P. 184-194.

42 Harrison, M. Experimental study of single bubble cavitation noise, J. Acoust. Soc. Amer. 1952. P. 776

43 Jim Frederick. Economic Benefits of Utilizing Controlled Cavitation Technology for Black Liquor Oxidation and Heating. / Jim Frederick, Daniel Armstead, Steve Lien, Wolfgang Schmidl, Bijan Kazem – TAPPI Journal, January, 2002.

44 Kulagin V. Cavitation Biomechanic // Journal of Soviet Science and Technology. Harbin, 1991. № 4 (145). – P. 832-850.

46 Wheeler, W. H. Indentation of metals by cavitation. Trans. ASME, Series D, 82, N1. 1960. – P. 184-194.

47.ФИПС[Электронный ресурс]http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content_ru/ru (дата обращения: 20.11.2015)

ПРИЛОЖЕНИЕ А –Факторы формирования химического состава подземных вод

Факторы формирования	Подземные воды	Результаты воздействия на состав
Прямые факторы я	Поверхностные воды, почвы, породы, физико – химические процессы (Растворение, осаждение, сорбция и пр.)	Поступление химических веществ в растворенной форме, освобождение в результате физико – химических процессов
Косвенные факторы	Климат, рельеф геологические условия, глубина залегания, температура и давление	Изменение химического состава воды (минерализация) и соотношение компонентов (относительный состав)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б –Классификация примесей и методы их удаления

Фазовая характеристика	Гетерогенные системы		Гомогенные системы		
Группа	I	II	III	IV	
Физико-химическая характеристика	Грубодисперсные примеси: суспензии, эмульсии, планктон, патогенные микроорганизмы	Примеси коллоидной Степени дисперсности: органические и Неорганические вещества, вирусы, бактерии	Примеси молекулярной Степени дисперсности: газы, органические вещества, соли, кислоты, щелочи, не перешедшие в ионное состояние	Примеси Ионной степени дисперсности: соли, кислоты, основания	
Поперечный Размер частицы, мкм	> 10-1	10-1 – 10-2	10-2 – 10-3	< 10-3	
Методы Удаления примесей из воды	Фильтрация (механическое удаление)	Ультра- фильтрация	Обратный осмос, нанофильтрация		
		Коагуляция	Десорбция газов и веществ, эвапорация труднолетучих веществ	Перевод ионов в Малорастворимые соединения	
		Окисление хлором, озоном, перманганатом			
		Адсорбция на гидроксидах и дисперсных минералах	Адсорбция на активных углях и других материалах	Фиксация на твердой фазе ионитов	

	Агрегация при помощи флокулянтов (анионных и катионных)		Ассоциация молекул	Моляризация и комплексообразование
	Флотация	Электрофоретические методы	Экстракция органическими Растворителями	Сепарация ионов при различном фазовом состоянии воды
	Электролиз синезеленых водорослей			
	Бактерицидное воздействие	Вирулицидное воздействие	Биохимический распад	Использование подвижности ионов в электрическом поле
Силы, удерживающие примеси в воде	Гидродинамические	Электростатические	Вандерваальсовы	Ионные силы растворов

Эффективность метода напрямую зависит от того насколько грамотно он подобран. Должны учитываться не только состав загрязняющих веществ но цели использования.

**ПРИЛОЖЕНИЕ В – Аттестат акредитации исследовательской лаборатории Рыбинской ЛПДС АО
«Транснефть – Западная Сибирь».**

ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Движение водного потока в водном резервуаре.

