

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

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ**

(наименование института полностью)

Кафедра «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение»

(наименование кафедры)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки)

Водоснабжение городов и промышленных предприятий

(направленность (профиль))

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

на тему «Совершенствование технологии водоподготовки котельной  
малой производительности из подземного источника  
(на примере поселка Поволжский)»

Студент

П.С. Коробцова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

В.А. Селезнев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Консультант

В.В. Петрова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы

к.т.н., доцент, И.А. Лушкин

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

(личная подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**Допустить к защите**

И.о. заведующего кафедрой

к.т.н., доцент, И.А. Лушкин

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

(личная подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Тольятти 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
Глава 1 ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД И МЕТОДЫ ВОДОПОДГОТОВКИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ .....	6
1.1 Общая характеристика подземных вод.....	6
1.2 Качество подземных вод .....	11
1.3 Методы умягчения .....	17
1.4 Методы дегазации .....	34
1.5 Методы обезжелезивания, деманганации и обесфторивания .....	46
1.6 Выводы по главе 1.....	64
Глава 2 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ КОТЕЛЬНОЙ МАЛОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПОС. ПОВОЛЖСКИЙ	65
2.1 Описание котельной и общая характеристика технологической схемы.....	65
2.2 Химводоочистка контура котлов (внутренний контур).....	70
2.3 Водоподготовка контура теплосети (внешний контур) .....	77
2.4 Выводы по главе 2.....	82
Глава 3 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ НА КОТЕЛЬНОЙ ПОС. ПОВОЛЖСКИЙ .....	83
3.1 Модернизация блока умягчения.....	83
3.2 Оптимизация антинакипной обработки.....	95
3.3 Технико-экономическое сравнение действующей и предложенной технологических схем.....	101
3.4 Выводы по главе 3.....	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	105
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	107

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с особенностями климатических условий нашей страны большую роль в создании комфортных условий жизни и трудовой деятельности людей получили источники теплоснабжения, в частности отопительные котельные, достаточно часто в производственных процессах использующие воду из подземных источников. Большое значение в данном случае приобретает качество исходной воды и обеспечение соответствующей технологии водоподготовки, так как при несоответствии требованиям вода может наносить непоправимый вред трубопроводам, а также оборудованию котельной, что влечет за собой снижение эффективности его работы и дорогостоящие затраты на ремонт предприятия.

Важной проблемой водоподготовки котельных малой производительности, использующих подземные артезианские воды является содержание в них минералов, солей жесткости, железа, фтора, марганца и сероводорода, которые наносят вред оборудованию котельной в качестве накипеобразования на поверхностях, что значительно снижает его функциональность и эффективность теплопередачи. Содержание в исходной воде растворенного кислорода и свободной углекислоты является причиной внутренней коррозии трубопроводов.

Таким образом, актуальным является вопрос об организации технологии водоподготовки, соответствующей качеству исходного сырья, при использовании которой обеспечивается вода, отвечающая определенным требованиям для безопасной и стабильной работы теплового оборудования.

В качестве исследуемого объекта используется котельная БМК-34 с тремя котлами, расположенная в поселке Поволжский. Водоснабжение котельной осуществляется артезианской водой.

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Теплогазоснабжение и вентиляция, водоснабжение и водоотведение» в Тольяттинском государственном университете» в период 2017-2019 гг.

Объект исследования – система теплоснабжения малых населенных пунктов.

Предмет исследования – технология водоподготовки отопительной котельной (технологическая схема).

Целью настоящей работы является совершенствование технологической схемы водоподготовки отопительной котельной при использовании подземных вод.

Для реализации цели поставлены следующие научно-технические задачи:

- 1) Изучение методов водоподготовки в системах теплоснабжения
- 2) Анализ технологических схем водоподготовки в системах теплоснабжения
- 3) Разработка технологической схемы водоподготовки подпиточной воды из подземного источника малого населенного пункта (п. Поволжский)
- 4) Техничко-экономический анализ существующей и предложенной технологических схем

Научная новизна заключается в оптимизации существующей технологической схемы водоподготовки БМК-34 п. Поволжский.

Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций по повышению эффективности водоподготовки и работы теплового оборудования.

На защиту выносятся:

- результаты анализа водно-химического режима котельной пос. Поволжский;
- рекомендации по совершенствованию существующей схемы водоподготовки.

Апробация работы.

Результаты и основные положения работы были представлены на следующих конференциях:

1. Научно-практическая конференция «Студенческие дни науки в ТГУ» (г. Тольятти, 2018)

2. XX Международная научно-практическая конференция «Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии» (г. Пенза, 2018)

3. Научно-практическая конференция «Студенческие дни науки в ТГУ» (г. Тольятти, 2019)

Публикации. По теме диссертации были опубликованы 3 статьи.

Структура диссертации.

Диссертация включает в себя: введение, 3 главы, заключение, библиографический список из 45 наименований. Объем диссертации составляет 112 страниц стандартного печатного текста, включая 8 таблиц и 35 рисунков.

# Глава 1 ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД И МЕТОДЫ ВОДОПОДГОТОВКИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

## 1.1 Общая характеристика подземных вод

Подземные воды накапливаются над водонепроницаемыми пластами (глина, гранит, базальт) в водоносных слоях, которыми служат пористые пески и суглинки, и трещиноватые твердые известняки. Благодаря фильтрации через почву, песок и породы, вода очищается практически от всех органических примесей и насыщается минералами.

В зависимости от условия залегания воды из подземных источников подразделяются на артезианские и грунтовые, а по гидравлическим условиям на напорные и безнапорные. Напорные воды обычно имеют большую глубину залегания. Вследствие выхода напорных вод на поверхность земли образуются восходящие источники, например гейзеры. Нисходящие же источники образуются при выходе на поверхность грунтовых или безнапорных межпластовых вод (речные долины, овраги, ручьи). Водоносные горизонты разделяются слоями водонепроницаемых пород. К рыхлым, водопроницаемым или аллювиальным породам можно отнести песок, гальку, гравий, а также глину.

«Необходимо отметить, что широко распространенные подземные воды по степени минерализации разделяют на пресные (до 1 г/л), солоноватые (до 25 г/л), соленые (до 50 г/л), рассолы (более 50 г/л)» [1, с. 4]. Солоноватые и соленые подземные воды в хозяйственно-питьевых целях используются только после опреснения и кондиционирования. Для организации питьевого водоснабжения безусловно подземные воды имеют приоритет, так как по сравнению с поверхностными отличаются высоким качеством и защищенностью от влияния внешних факторов.

По глубине залегания и отношению к водоупорным грунтам выделяют:

– Почвенные воды (верховодка, поверхностные воды) находятся на поверхности земли и не защищены водоупорным слоем (реки, озера, пруды).

Питаются, в основном за счет атмосферных осадков, их количество резко увеличивается весной во время таяния снегов и уменьшается в сезон засухи. Легко подвержены загрязнению ливневыми стоками, требуют комплексной очистки. В качестве источников хозяйственно-питьевого водоснабжения обычно не используются.

– Грунтовые воды располагаются на первом водоупорном слое и не защищены сверху. Образуются за счет атмосферных осадков и потому имеют колеблющийся уровень. Служат распространенным источником децентрализованного водоснабжения в сельской местности путем организации шахтных или трубчатых колодцев. Безнапорные, уровень воды в колодце соответствует уровню залегания, который может колебаться от нескольких метров до нескольких десятков метров.

Между грунтовыми водами и верховодкой может происходить водообмен, однако состав грунтовых вод более постоянен, а качество зависит от чистоты грунтов в зоне залегания. С целью профилактики микробного загрязнения, органы санитарного надзора рекомендуют производить хлорирование воды.

– Межпластовые напорные (артезианские) и безнапорные воды залегают на различной глубине между двумя водоупорными пластами (ложом и кровлей). Если подземный поток полностью заполняет пространство между водонепроницаемыми слоями и выходит на поверхность под давлением, то это артезианская вода.

Подземные воды подобного типа отличаются особой чистотой. Огромная толща фильтрационных пород, анаэробные условия под землей, отсутствие органики не оставляют микроорганизмам ни малейшего шанса на выживание. Артезианские воды в процессе водоподготовки не требуют обеззараживания. Водонепроницаемые слои надежно изолируют воду от попадания загрязнений, поэтому малейшие изменения состава таких вод свидетельствуют о санитарном неблагополучии.

Таким образом, учитывая особенности подземных вод можно классифицировать их следующим образом:

1. Верховодка (находится в верхнем слое над первым водоупорным слоем, непостоянна)

- почвенные воды
- болотные воды
- воды, расположенные на линзах водоупорных пород

2. Грунтовые воды (располагаются в трещинах и кавернах карбонатных пород)

- трещиноватые
- трещиновато – пластовые
- карстовые

3. Межпластовые безнапорные воды (полностью не заполняют пространство между водоупорными пластами)

4. Артезианские воды (напорные, полностью занимают пространство между водоупорными пластами)

- артезианские бассейны (расположены в песчаных породах)
- артезианские склоны (песчано – галечниковые предгорные породы)

Накапливаясь между водонепроницаемыми пластами, воды образуют водоносный горизонт. При выходе его на земную поверхность формируются ключи и родники. Напорные межпластовые или артезианские воды находятся на значительной глубине, порядка 50 метров и глубже. Минеральные воды также могут иметь выход на поверхность в виде родников, имеют сложный химический состав и представляют интерес для лечебно – оздоровительных целей. Пример расположения различных видов подземных вод представлен на рис.1.1.





Рисунок 1.1 – Залегание подземных вод

Состав подземных вод обуславливается не только молекулами воды ( $H_2O$ ), но также и посторонними примесями, такими как:

1. Живые микроорганизмы – аэробные и анаэробные бактерии и вирусы, способные вызвать тяжелые заболевания, в частности полиомиелит, дизентерию, брюшной тиф и др. В пресных подземных водах зоны активного обмена воды развиваются гнилостные, сапрофитные, денитрифицирующие бактерии. Для санитарно-гигиенической оценки вод на питьевые нужды используется коли-индекс (коли-титр) и бактериальный посев бактерий. При низком показателе коли-титра для обработки вод от патогенных микроорганизмов и вирусов используется обеззараживание (окислителями, например хлором, ультрафиолетовое и ионизирующее излучение, ультразвуковые колебания, тепловая обработка и т.п.).

2. Взвешенные вещества размером более 0,1 мкм представлены частицами минерального и органического происхождения, особенно песка и глины. Наличие взвешенных частиц в воде обуславливает её мутность. Воду по мутности разделяют на прозрачную, слабоопалесцирующую, опалесцирующую, слегка мутную и сильно мутную. Также на мутность воды влияет содержание в ней железа, которое дает ржавый оттенок. Исходя из способности взвешенных веществ к осаждению, для их удаления из

подземных вод используются следующие методы: фильтрование через пористую загрузку, флотация и флокуляция, адгезия на зернистых материалах и разделение гравитацией или под действием центробежных сил.

3. Коллоидно-растворённые вещества размером от 1 до 100 мкм представлены мельчайшими частицами. В коллоидном состоянии в подземных водах встречаются такие вещества как гидроксид железа  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , гидроксид алюминия  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , кремневая кислота  $\text{SiO}_2$  и органические соединения. Коллоиды имеют свойство не оседать в течение продолжительного времени. Это свойство является главным фактором при определении должного метода очистки. В качестве методов применяется обработка воды известью и коагулянтами, флокуляция, окисление хлором, адсорбция и многие другие.

4. Истинно-растворённые вещества определяются содержащимися газами в молекулярном виде ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , и др.) или минеральных солей, представленными в виде ионов (катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  и  $\text{NH}_4^+$ ; анионы  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ). Наиболее негативное влияние на питьевые и технические качества подземных вод оказывает сероводород. Эффективными методами обработки от вышеперечисленных компонентов является аэрирование, адсорбция, окисление, а также методы ионного обмена с использованием реагентов.

В зависимости от анионно-катионного состава подземные воды делятся на гидрохимические классы:

- Бикарбонатные воды (Основной анион  $\text{HCO}_3^-$ , катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ );
- Сульфатные воды (Основной анион  $\text{SO}_4^{2-}$ , катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ );
- Хлоридные воды (Основной анион  $\text{Cl}^-$ , катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ).

Чтобы обеспечить потребителей водой из подземного источника обустраивают сложные гидротехнические сооружения – водозаборные станции. Их задача заключается в подъеме воды и подаче ее в разводящую

сеть, либо на головные очистные сооружения водопроводной станции. Подъем воды из безнапорных, малодобитных неглубоких напорных горизонтов осуществляется с помощью трубчатых колодцев, представляющих собой обычную вертикальную скважину, обеспечивающую поступление воды с наименьшим гидравлическим сопротивлением. По назначению скважины могут быть эксплуатационные и наблюдательные.

Следует отметить, что подземные воды относятся к стратегическому запасу, регулирование отношений в области использования подземных вод осуществляется ФЗ «О недрах» [2], в ст. 2.3 которого указано, что участки, на которых располагаются скважины добывающие воды на хозяйственно-питьевые или технологические нужды относятся к участкам недр местного значения.

## 1.2 Качество подземных вод

Оценка качества проводится путем химического анализа, основной целью которого является определение состава воды, а именно содержания трех основных анионов  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$  и катионов  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$  и  $\text{Na}$ . Помимо этого рассматриваются физические свойства воды, а также определяется количество растворенных газов, в частности кислорода и углекислоты, общая минерализация, водородный показатель (рН) и жесткость.

Понятие жесткости воды принято связывать с присутствием катионов кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ) и магния ( $\text{Mg}^{2+}$ ). На практике, все содержащиеся в воде двухвалентные катионы, в отличие от одновалентных, в различной степени влияют на жесткость. Посредством взаимодействия катионов с анионами возникают соединения, так называемые соли жесткости, которые могут выпадать в осадок. В табл. 1.1 приведены основные катионы металлов, обуславливающие жесткость, и анионы, с которыми они ассоциируются.

Таблица 1.1 – катионы и анионы воды

Катионы	Анионы
Кальций ( $\text{Ca}^{2+}$ )	Гидрокарбонат ( $\text{HCO}_3^-$ )
Магний ( $\text{Mg}^{2+}$ )	Сульфат ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

Стронций ( $\text{Sr}^{2+}$ )	Хлорид ( $\text{Cl}^-$ )
Железо ( $\text{Fe}^{2+}$ )	Нитрат ( $\text{NO}_3^-$ )
Марганец ( $\text{Mn}^{2+}$ )	Силикат ( $\text{SiO}_3^{2-}$ )

Фактически такие катионы как стронций ( $\text{Sr}^{2+}$ ), железо ( $\text{Fe}^{2+}$ ), марганец ( $\text{Mn}^{2+}$ ), а также барий ( $\text{Ba}^{2+}$ ) влияют на жесткость в столь малой мере, что ими обычно пренебрегают. Трехвалентные катионы, входящие в состав вод, такие как алюминий ( $\text{Al}^{3+}$ ) и железо ( $\text{Fe}^{3+}$ ), в свою очередь также обуславливают жесткость. Однако, учитывая уровни рН природных вод, в коих растворимость катионов очень мала, и принимать их во внимание не стоит.

Выделяют следующие виды жесткости воды:

– Карбонатная (временная) жесткость характеризуется наличием гидрокарбонатов кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  и магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ . При нагреве воды анионы  $\text{HCO}_3^-$  вступают в реакцию с катионами  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , образуя слабо растворимые карбонатные соли. Эти соли и есть отложения в виде накипи. Карбонатная жесткость полностью удаляется кипячением;



– Некарбонатная (постоянная) жесткость воды обусловлена присутствием солей, таких как сульфаты и хлориды кальция и магния  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ . При кипячении данные соединения не диссоциируют. Следует отметить, что именно присутствие соли  $\text{CaSO}_4$ , растворимость которой с повышением температуры воды понижается, приводит к образованию плотной накипи;

– Общая жесткость складывается из карбонатной (временной) и некарбонатной (постоянной).

Согласно [3] жесткость воды выражается в мг-экв  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  на 1 л воды или же в градусах жесткости °Ж. Жесткость равная 1 мг-экв/л соответствует содержанию 20,04 мг/л  $\text{Ca}^{2+}$  или 12,16 мг/л  $\text{Mg}^{2+}$ . В свою очередь градус жесткости °Ж равен 1 мг-экв/л.

В природе жесткость воды различна и может варьироваться в широких пределах. Существует множество методов классификаций воды по степени ее жесткости. В табл. 1.2 приведен пример классификации воды о жесткости в нашей стране и за рубежом.

Как правило, поверхностные воды обладают меньшими показателями жесткости, нежели подземные. Значения жесткости поверхностных вод подвержены сезонным колебаниям. Так, например, в период половодья показатели жесткости наиболее низкие за весь период, а в конце зимы наоборот достигают максимальных значений. Понижение жесткости происходит за счёт разбавления вод мягкой талой или дождевой водой.

Наивысшими показателями жесткости в природе обладает морская и океанская вода, достигая порой сотен мг-экв/л.

Таблица 1.2 – Классификация воды по жесткости

Жесткость воды, мг-экв/л	Согласно [4]	Согласно [5]	Германия, по [6]	США, US EPA
до 1,2	Мягкая	Очень мягкая	Мягкая	Мягкая
1,2-1,6		Мягкая	Средней жесткости	Умеренной жесткости
1,6-2,4				
2,4-3,0		Умеренной жесткости	Достаточно жесткая	Жесткая
3,0-3,6				
3,6-4,0				
4,0-6,0	Средней жесткости	Жесткая	Очень жесткая	Очень жесткая
6,0-8,0	Жесткая			
8,0-9,0		Очень жесткая		
9,0-12,0	Очень жесткая			
более 12,0		Очень жесткая		

Высокие показатели жесткости значительно ухудшают органолептические свойства воды, придавая горьковатый вкус, а также могут нанести вред органам пищеварения человека. Согласно [7, прил.1] по указанию Главного государственного санитарного врача жесткость питьевой воды не должна превышать 7 мг-экв/л.

Однако, порог вкуса для иона кальция лежит (в пересчете на мг-экв) в диапазоне 2-6 мг-экв/л. Считается, что как и жесткая, так и излишне мягкая

вода оказывает отрицательный эффект на баланс минеральных веществ в организме человека.

«В зависимости от pH и щелочности воды жесткость выше 10 °Ж может вызывать образование шлаков в распределительной системе водоснабжения и накипи при нагревании. Вода жесткостью менее 5 °Ж может оказывать коррозионное воздействие на водопроводные трубы. Жесткость воды может влиять и на применяемость для потребления человеком с точки зрения ее вкусовых свойств» [8].

Как правило, жесткая вода негативно влияет на паровое и водогрейное оборудование, образуя на стенках отложения, из-за которых уменьшается теплопроводность (рис. 1.2). Таким образом, снижается экономичность предприятия, растет расход топлива. Что касается быта, жесткая вода плохо мылится и также образует накипь на стенках чайника или внутренних частей стиральных машин.



Рисунок 1.2 – Образование накипи на трубах

В сфере использования теплового оборудования, в частности, для воды, используемой для подпитки котлов водогрейных, существуют нормативные показатели по жесткости. По [9, табл. 1] карбонатная жесткость подпитки не должна превышать 0,3 мг-экв/л, в то время для паровых котлов показатели не должны превышать 0,05 мг-экв/л. Поэтому для снижения жесткости исходной воды и доведения показателей до указанных требований используются методы умягчения, а также обратный осмос (обессоливание).

Помимо ионной составляющей, в воде также присутствуют

растворенные газы. Основным источником обогащения воды газами является атмосферный воздух. При соприкосновении воздуха с водой происходит растворение в ней газов, входящих в состав воздуха (азота, кислорода, углекислого газа, водорода). Количество растворенного в воде газа определяется его свойствами, парциальным давлением над поверхностью, воды и ее температурой. С ростом температуры воды растворимость газов уменьшается, в точке кипения растворимость минимальная.

Наличие в сетевой воде кислорода или свободной углекислоты, которые попадают в систему с добавочной водой на восполнение утечек или при подсосах воздуха через неплотности при разрежении в трубах, является причиной внутренней коррозии тепловых сетей и оборудования. Коррозии подвергаются теплообменники, трубопроводы, насосы и котловое оборудование.

В кислой или нейтральной среде кислородная коррозия в основном имеет равномерный характер. Обескислороженная вода или конденсат должны тщательно изолироваться от атмосферы, во избежание попадания кислорода из воздуха.

При воздействии на металл кислородной коррозии в щелочной или слабощелочной среде наблюдается образование так называемых язвин (рис. 1.3), что подразумевает локально сосредоточенный характер коррозии. Такой вид коррозии достаточно опасен, так как может произойти разрыв трубопровода по цепочке язв.



Рисунок 1.3 – Пример локальной коррозии



Не менее важным фактором образования коррозии является наличие в воде угольной кислоты. Двуокись углерода  $\text{CO}_2$  при растворении в воде образует угольную кислоту  $\text{H}_2\text{CO}_3$  которая диссоциирует с образованием ионов водорода:



Ионы водорода  $\text{H}^+$ , образовавшиеся в результате распада, подкисляют воду. Данный процесс приводит к появлению коррозии с водородной деполяризацией, которая в зависимости от состава металла может протекать с достаточно большими скоростями. Таким образом, при водородной коррозии наблюдается нарушение целостности металла, а питательная вода обогащается окислами железа.

По [10, с. 67] в целях предотвращения коррозии теплофикационного оборудования и сетей на практике осуществляется следующее:

а) поддержание стабильных показателей, не превышающих нормы допустимого содержания  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , жесткости, рН и взвешенных веществ в подпиточной воде;

б) оснащение подогревателей трубами из коррозионностойких металлов, например меди или латуни;

в) применение защитных покрытий на внутренних поверхностях трубопроводов, баков и прочего теплофикационного оборудования.

Методы борьбы с коррозией основываются на удалении из воды и конденсата агрессивных газов, кислорода и угольной кислоты.

«Для снижения коррозионной активности воды применяются два способа: физический – удаление агрессивных газов путем деаэрации (дегазации) и химический – связывание агрессивных компонентов химическими реагентами» [11, с. 311].

Вопрос удаления коррозионно-агрессивных газов в системах теплоснабжения является одним из самых важных. Высокие требования к качеству исходной и химочищенной воды, поступающей на подпитку



оборудования и сети, подразумевают обработку от газов, в первую очередь от  $O_2$  и  $CO_2$ .

Таким образом, при разборе существующих методов обработки воды для тепловых сетей необходимо обратить внимание на методы удаления жесткости и растворенных газов. Иные методы обработки имеют место быть при наличии в подземных водах железа, марганца и фтора, что встречается значительно реже, проблема же снижения жесткости и дегазации распространена повсеместно.

### **1.3 Методы умягчения**

Существует различное количество методов водоподготовки подземных вод, как исходных. Далее рассматриваются схемы и виды обработки подземных вод, повсеместно используемые для снижения жесткости воды, их достоинства и недостатки. Литературный обзор послужит информативно-технической базой для разработки собственных решений по водоподготовке. Выбор метода определяется качеством исходной воды, требуемой глубиной умягчения и технико-экономическими показателями. Основные характеристики методов сведены в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Основные характеристики методов умягчения воды и условия их применения

Показатель		Методы умягчения воды			
		Ионообменный	Реагентный	Безреагентный	
				Термический	Диализ
Характеристика процесса		Воду пропускают через катионитовые фильтры	В воду добавляют известь для удаления временной жесткости и соду для устранения постоянной жесткости	Вода нагревается свыше температуры кипения	Вода фильтруется через полунепроницаемую мембрану
Назначение метода		Глубокое умягчение воды	Неглубокое умягчение воды при одновременном применении осветлителей	Применим для питания котлов низкого и среднего давления. В ходе удаляется временная жесткость	Глубокое умягчение воды
Условия применения	Мутность исходной воды, мг/л	Не более 8	До 500	До 50	До 2
	Жесткость, мг-экв/л	Не более 15	В пределах 5 -30	Карбонатная жесткость $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ; некарбонатная в виде гипса	До 10
	Температура воды, °С	До 30 (сульфоуголь до 60)	До 90	До 270	До 60
Остаточная жесткость, мг-экв/л		0,03-0,05 при одноступенчатом; до 0,01 при двухступенчатом	До 0,7	Карбонатная (временная) до 0,04; $\text{CaSO}_4$ до 0,7	Менее 0,01
Расходы воды на собственные нужды		До 30% (пропорционально жесткости исходной воды)	Не более 10%	Отсутствуют	Около 10%

## Методы ионного обмена

«При умягчении на хозяйственно-питьевые нужды следует применять реагентные методы (известковый или известково-содовый) и метод частичного Na-катионирования» [12]. Схемы обработки воды методами ионного обмена, так называемое катионирование, является самым распространенным методом.

В [9, табл. 2] изложены рекомендованные виды водоподготовки для снижения карбонатной жесткости, такие как:

- Натрий – катионирование
- Частичное водород – катионирование
- Подкисление, пропуск воды через нерегенерируемый катионитовый фильтр
- Известкование с подкислением

Сущностью обработки воды методами ионного обмена является пропуск исходной воды через фильтрующий слой ионообменного материала, который не растворяется в воде, но способен взаимодействовать с содержащимися в воде ионами. Такой материал, именуемый катионитом, при регенерации его соответствующими растворами, например NaCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, или NH<sub>4</sub>Cl способен обменивать содержащиеся в воде катионы Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> на ионы соответственно Na<sup>+</sup>, H<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и таким образом умягчать воду.

### 1) Метод Na-катионирования

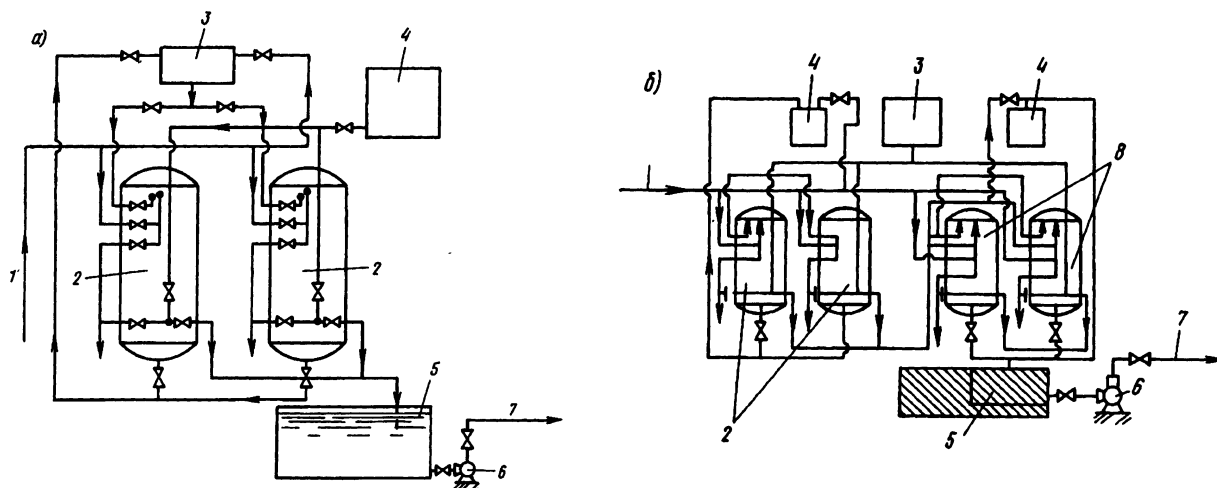
Основой данного метода служит пропуск исходной воды через Na-форму катионита, которая предварительно была подвержена регенерации с использованием поваренной соли (технической) соли NaCl. Из воды, как было описано выше, при этом удаляются катионы кальция и магния и заменяются на ионы натрия, а анионный состав остается неизменным.

Число ступеней катионирования определяется требованиями к обработанной воде. Так, согласно [15, табл. 7.27] используя одноступенчатое Na-катионирование можно добиться показателей остаточной жесткости воды

до 0,1 мг-экв/л, тогда как в двухступенчатой установке до 0,01-0,02 мг-экв/л. Схема одноступенчатого катионирования (рис. 1.4, а) является более простой в эксплуатации. Схема двухступенчатого катионирования предназначена для глубокого умягчения, экономии соли и увеличения фильтроцикла (рис. 1.4, б).

Особенностью является то, что данный метод применяем для подземных вод с показателем мутности не более 5-8 мг/л, а также для вод, которые прошли предварительную обработку в виде коагуляции, известкования или осветления с показателем окисляемости не превышающим 15 мг/л  $O_2$ . Подробный расчет и указания по норме хранения и содержания складов реагента поваренной соли приводятся в [12, с. 59-64].

Основными данными при проектировании и расчете схем обработки с помощью Na-катионирования является, во-первых производительность установки, то есть объем обрабатываемой воды с учетом расхода на собственные нужды, например промывку. Во-вторых, общая жесткость обрабатываемой воды и остаточная жесткость фильтрата согласно требованиям к качеству воды указанным в [14].



1,7 – подача исходной и отвод умягченной воды; 2 – Na-катионитовые фильтры I ступени;

3 – бак с раствором поваренной соли; 4 – бак с частично умягченной водой для взрыхления катионита; 5 – бак умягченной воды; 6 – насос; 8 – Na-катионитовые фильтры

II ступени

Рисунок 1.4 – Схема одноступенчатого (а) и двухступенчатого (б) Na-катионирования

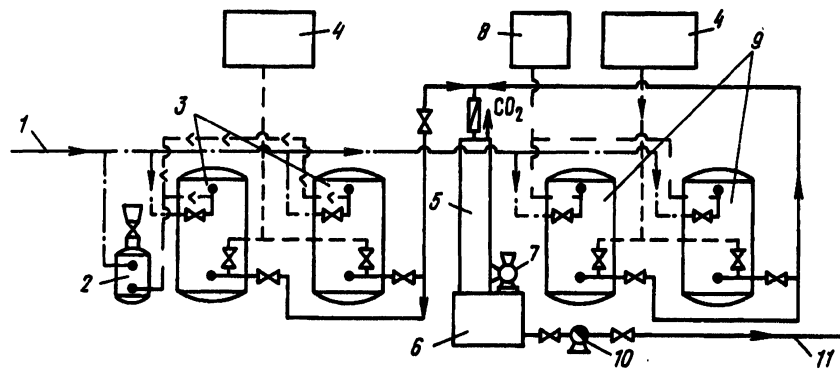
2) **Метод Н-катионирования** основан на пропуске исходной воды через отрегенированный кислотой катионит. Принцип умягчения данного метода аналогичен методу Na-катионирования, однако здесь катионы обмениваются на ионы водорода. В ходе Н-катионирования значительно снижается показатели рН из-за образующихся в фильтрате кислот, а выделяющийся оксид углерода (IV) впоследствии удаляется дегазацией.

В зависимости от требований к качеству обрабатываемой воды [13] технология Н-катионирования претерпевает изменения. Так, например, в схемах частичного или полного обессоливания воды используется Н-катионирования с удалением из обрабатываемой воды ионов натрия, так как наблюдается их проскок.

Применение метода Na-катионирования не влияет на щелочность воды, а фильтрат Н-катионирования содержит минеральные кислоты. Таким образом, при смешении фильтратов можно получить умягченную воду с различной щелочностью.

В зависимости от исходных показателей и желаемого результата по обработке воды, а также по экономическим соображениям применяют параллельное, последовательное и смешанное (совместное) Н-Na-катионирование.

При параллельном Н-Na-катионировании (рис. 1.5) вода разделяется на два потока, первый пропускается через Н-катионитовый фильтр, второй через Na-катионитовый фильтр, а затем потоки смешивают. Данную схему целесообразно применять в случае, когда суммарная концентрация хлоридов и сульфатов в воде не превышает 4 мг-экв/л, а натрия не более 2 мг-экв/л.



1,11 – подача исходной и отвод умягченной воды; 2 – солерастворитель; 3 – Na-катионитовые фильтры; 4 – бак для взрыхления; 5 – декарбонизатор; 6 – резервуар; 7 – вентилятор; 8 – бак раствора кислоты; 9 – H-катионитовые фильтры; 10 – насос; 12 – H-Na-катионитовый фильтр; 13 – буферный Na-катионитовый фильтр

Рисунок 1.5 – Технологическая схема параллельного водород-натрий-катионирования воды

При последовательном H-Na-катионировании (рис. 1.6) вода также разделяется на два потока, первый из которых пропускается через H-катионитовый фильтр. Затем происходит подмес второго потока, то есть исходной воды с обработанной в фильтре водой. Полученную воду пропускают сначала через дегазатор, а потом направляют на Na-катионитовый фильтр. «Подобная схема позволяет более полно использовать обменную емкость H-катионита и снизить расход кислоты на его регенерацию» [15, с. 627]. Недостатком применения данной схемы является большие затраты на электроэнергию. Остаточная щёлочность составляет примерно 0,7 мг-экв/л.

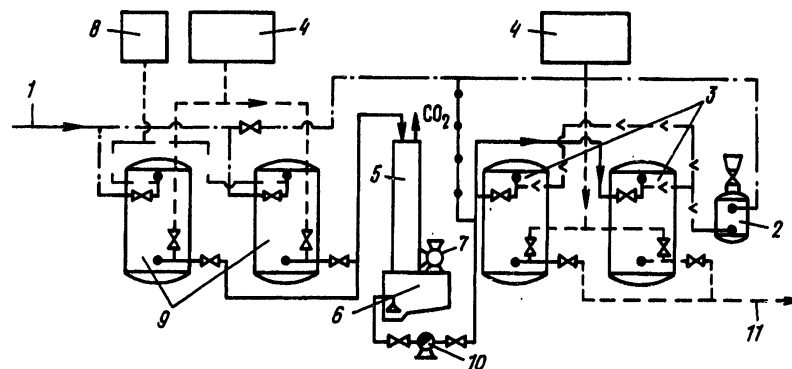


Рисунок 1.6 – Технологическая схема последовательного водород-натрий-катионирования воды

Совместное применение H и Na-катионирования (рис. 1.7) применяется для одновременного умягчения воды и снижения ее щелочности и соледержания, а также для удаления образующейся углекислоты. Процесс осуществляется в одном фильтре, вниз загружается Na-катионит, а верхним слоем служит H-катионит. Подобные схемы обеспечивают глубокое снижение щелочности до 2 мг-экв/л, жесткость составляет до 0,1 мг-экв/л согласно [13, с.26]. Регенерация фильтра производится сначала 1-1,5 % раствором серной кислоты, а потом раствором поваренной соли.

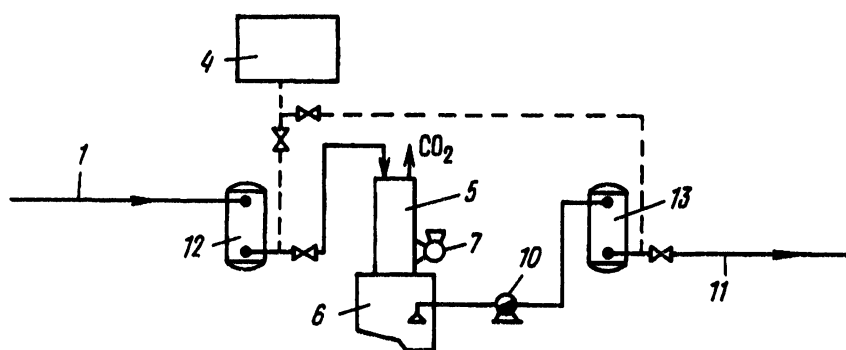
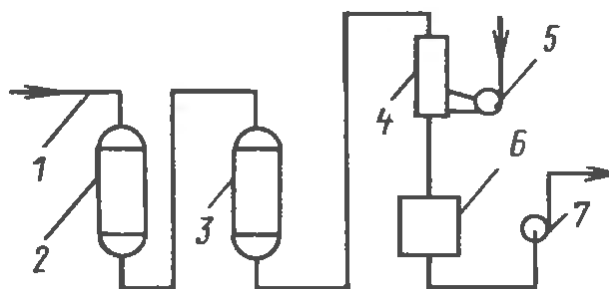


Рисунок 1.7 – Технологическая схема совместного водород-натрий-катионирования воды

Жесткость воды на входе в фильтр не должна превышать 6 мг-экв/л. Следует также обратить внимание, что отношение карбонатной жесткости к некарбонатной не должно быть больше единицы. Существенным недостатком схемы является сложный процесс регенерации, однако есть и плюсы, такие как отсутствие кислых стоков.

Благодаря ряду преимуществ более широко распространена схема H-катионирования с «голодной» регенерацией фильтров и последующим Na-катионированием, представленная на рис. 1.8.



1 – исходная вода; 2 – Н-катионитные фильтры с «голодной» регенерацией; 3 – буферные (нерегенерируемые) фильтры; 4 – декарбонизатор; 5 – вентилятор к декарбонизатору; 6 – бак декарбонизированной воды; 7 – насос

Рисунок 1.8 – Схема Н-катионирования с «голодной» регенерацией фильтров

Существенное отличие технологии Н-катионирования с «голодной» регенерацией фильтров от обычного метода заключается в том, что «удельный расход кислоты равен его теоритическому удельному расходу, то есть все ионы водорода регенерационного раствора при этом полностью задерживаются катионитом, вследствие чего сбрасываемый регенерационный раствор и отмывочные воды не содержат кислоты» [13, с.30].

Данный метод также способствует частичному умягчению воды и существенному снижению щелочности и общего солесодержания. Концентрация углекислоты увеличивается на величину снижения щелочности. Таким образом, на выходе можно добиться значения щелочности 0,3-0,5 мг-экв/л.

### 3) Метод частичного химического обессоливания воды ионитами

Данный метод применяется на объектах энергетики, при условии содержания солей в исходной воде не более 1000 мг/л.

Вода, подаваемая на ионитные фильтры должна иметь показатель перманганатной окисляемости не более 7 мг/л  $O_2$ , а содержание взвеси не должно превышать 8 мг/л. Если вода не отвечает этим требованиям, необходимо провести её предварительную обработку, применив коагуляцию и осветление, при большой карбонатной жесткости целесообразно совместить коагуляцию с известкованием.



При химическом обессоливании воду освобождают как от катионов, так и от анионов.

В зависимости от требований к величине солесодержания очищенной воды выбирается технологическая схема частичного обессоливания.

Схема, представленная на рис. 1.9 согласно [13, с. 33] пригодна для исходных поверхностных вод, когда на предочистке коагуляция совмещается с известкованием. Н - катионитные фильтры, загруженные сульфоуглем, работают до «проскока» жесткости. При требуемом глубоком умягчении вод ( $J_0 < 0,1$  мг-экв/л), после анионитного фильтра устанавливают буферный Na – катионитный фильтр.

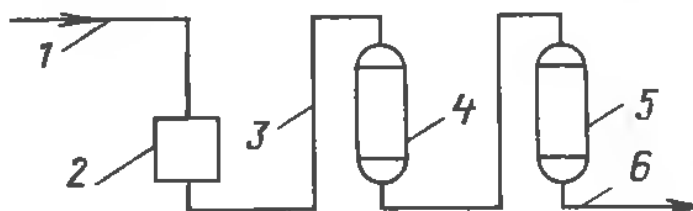


Рисунок 1.9 – Технологическая схема частичного химического обессоливания (исходная поверхностная вода)

В случае если вода, которая поступает на обессоливание, соответствует требованиям по окисляемости, цветности, а также содержанию взвешенных веществ, удаление натрия не требуется. Тогда осуществляется технологическая схема, представленная на рис. 1.10.

Состав частично обессоленной воды при работе Н – катионитных фильтров до «проскока» жесткости определяется ионами натрия, концентрация которых равна их содержанию в исходной воде, и остаточными концентрациями анионов  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ .

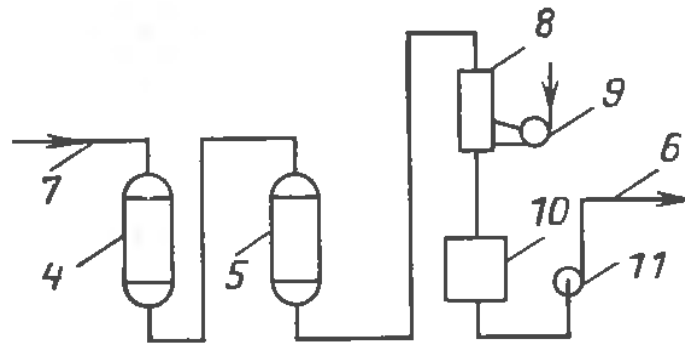


Рисунок 1.10 □ Технологическая схема частичного химического обессоливания (исходная водопроводная или артезианская вода средней минерализации)

Схема с двумя ступенями Н – катионитных фильтров, приведенная на рис. 1.11 применяется для высокоминерализованных вод, которые соответствуют по цветности, окисляемости и содержанию взвешенных веществ, указанных в требованиях. Наличие двух ступеней данных фильтров позволяет сокращать расходы кислоты на регенерацию на 15-20%.

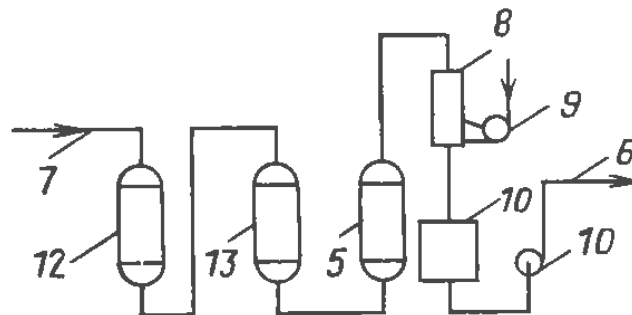


Рисунок 1.11 – Технологическая схема частичного химического обессоливания (исходная водопроводная или артезианская вода высокой минерализации)

Обозначения позиций, представленных на рис.9, 10, 11:

1 – вода из поверхностных источниках водоснабжения; 2 – предочистка с известкованием; 3 – осветленная вода; 4 – Н-катионитный фильтр; 5 – анионитный фильтр; 6 – обессоленная вода; 7 – водопроводная вода; 8 –декарбонизатор; 9 – вентилятор к декарбонизатору; 10 – бак декарбонизированной воды; 11 – насос декарбонизированной воды; 12 – Н-катионитный фильтр I ступени; 13 – Н-катионитный фильтр II ступени

#### 4) Метод $\text{NH}_4$ -катионирования

Сущность данного метода заключается в том, что «обрабатываемая вода фильтруется через слой катионита, отрегенированный солями аммония  $\text{NH}_4\text{Cl}$  или  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ » [13, с. 36]. Ион аммония, содержащийся в

катионите, обменивается на катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , таким образом, на выходе из фильтра показатели щелочности у обработанной воды остаются прежними, а показатели жесткости снижаются. Показатели щелочности обработанной воды остаются неизменными, жесткость уменьшается. При нагревании котла соли аммония, образовавшиеся в фильтрате, разлагаются. Дабы избежать появления коррозии под действием кислот применение  $\text{NH}_4$ -катионирования в энергетике сочетается с  $\text{Na}$ -катионированием.

Однако следует учитывать тот факт, что теплоноситель (пар) котлов питающихся обработанной таким образом водой содержит большое количество аммиака. Таким образом, нельзя использовать  $\text{NH}_4$ -катионирование, когда в тепловой схеме котельной установки присутствуют теплообменные аппараты и детали из медных сплавов и латуни или же при использовании пара на нужды ГВС, а также открытых систем.

При осуществлении процесса совместного  $\text{NH}_4$ - $\text{Na}$ -катионирования фильтр регенерируют смешанным раствором 2-3% сульфата аммония и хлористого натрия (поваренной соли).

5) **Метод  $\text{Na}$ - $\text{Cl}$ -ионирования** базируется на использовании анионита в  $\text{Cl}$ -форме и катионита в  $\text{Na}$ -форме. Восстановление обменной способности данных ионитов производится раствором поваренной соли.

$\text{Cl}$ -ионирование осуществляется после предварительного  $\text{Na}$ -катионирования, таким образом, происходит умягчение, и в обрабатываемой воде образуются соли натрия. В результате такого процесса снижается щелочность обрабатываемой воды.

Как отмечается в [13, с. 38], на практике было установлено, что внедрению данного метода препятствуют некоторые сложности, так как применение слабоосновных анионитов в технологии  $\text{Na}$ - $\text{Cl}$ -ионирования в силу потери обменной емкости после нескольких регенераций фильтров поваренной солью. Для продления срока службы фильтров необходимо, чтобы исходная вода не содержала железа и органических веществ, таким образом, требуется предварительное обезжелезивание подземных вод.

Регенерацию анионита следует проводить поваренной солью высокого качества с минимальным содержанием посторонних примесей.

В котельных установках требуется глубокое умягчение воды, которое обеспечивается с помощью двухступенчатых схем Na-катионирования. В случае Na-Cl-ионирования после первой ступени Na-катионирования устанавливаются фильтры, совмещающие в себе Na-катионирование с Cl-ионированием, при этом в низ загружается катионит, а сверху – анионит. Таким образом, при регенерации раствором поваренной соли (NaCl) ионы натрия регенерируют катионит, а ионы хлора – анионит.

### Реагентные методы

Применение методов обработки воды с использованием реагентов достаточно распространено и определяется требованиями к качеству обработанной воды и исходному составу. Реагентное умягчение может осуществляться без подогрева и с подогревом воды. Иногда умягчение посредством реагентов совмещают с удалением из воды таких элементов как железо, марганца, сульфатов. В табл. 1.4 представлены возможные методы обработки и применяемые реагенты.

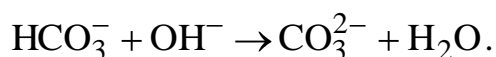
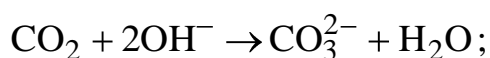
В основе методов обработки с использованием реагентов лежит протекание реакции с образованием труднорастворимых соединений карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) и гидроксида магния ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ), которые выпадают в осадок и удаляются из воды в виде осадка. К таким методам относятся известкование, содоизвесткование и обработка едким натром.

Таблица 1.4 – Перечень методов обработки реагентами

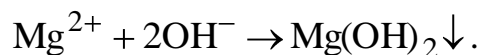
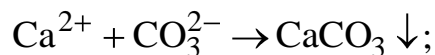
№	Методы реагентного умягчения	Используемые реагенты
1	Известковый	CaO или $\text{Ca}(\text{OH})_2$
2	Известково-содовый	CaO и $\text{Na}_2\text{CO}_3$
3	Едконатриевый	NaOH
4	Известково-едконатриевый	CaO и NaOH
5	Содово-едконатриевый	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ и NaOH
6	Фосфатный (обычно после известково-содового умягчения воды)	$\text{Na}_3\text{PO}_4$
7	Бариевый (используется редко из-за дефицитности и дороговизны реагента)	$\text{BaCO}_3$ или $\text{Ba}(\text{OH})_2$

### ➤ Известкование (декарбонизация воды)

Известкование используется, когда требуется произвести удаление диоксида углерода или карбонатной жесткости (частичного умягчения), а также для снижения солесодержания и щелочности. Используемую в качестве реагента известь вводят в виде раствора или суспензии, воду в этом случае предварительно подогревают. Известь  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  обогащает воду ионами  $\text{OH}^-$ , за счет чего происходит связывание растворенного оксида углерода (IV) с образованием карбонатных ионов и переходу гидрокарбонатных ионов в карбонатные согласно формулам:



Таким образом, при взаимодействии с присутствующими в воде ионами кальция происходит осаждение малорастворимого карбоната кальция (карбонатная жесткость). По этому же принципу в осадок выпадает гидроксид магния:

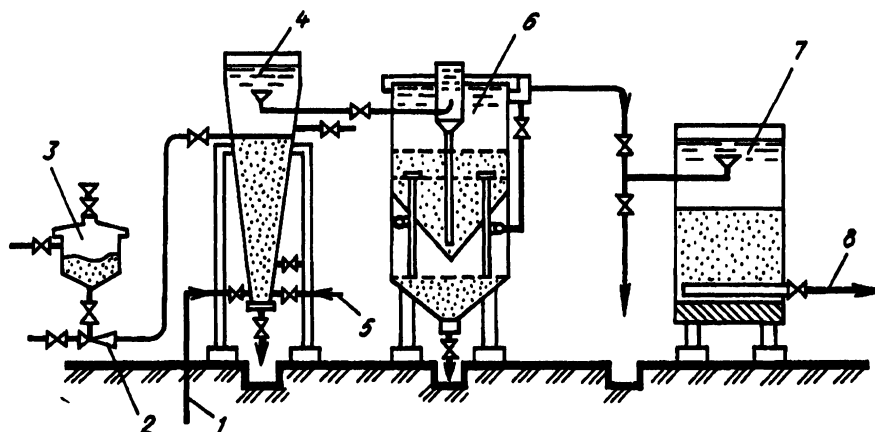


### ➤ Известково-содовый метод

Известково-содовая обработка осуществляется для того, чтобы устранить соли карбонатной и некарбонатной жесткости. В современных условиях данный метод применяется редко, при использовании высокоминерализованных вод с высокой некарбонатной жесткостью. Процесс проводят в осветлителях. Для получения более низкой щелочности соду дозируют без остатка, при этом остаточная жесткость обработанной воды составляет 1-3 мг-экв/л. Глубокое умягчение воды производится в На-катионитных фильтрах. Результативность умягчения зависит от температуры воды, наиболее эффективно проводить умягчение данным методом при 35-40°C. Контроль процесса умягчения ведется за счет корректировки pH или

по значению гидратной щелочности, которая при известково-содовом умягчении поддерживают в пределах 0,3-0,5 мг-экв/л.

«В технологии реагентного умягчения воды используют аппаратуру для приготовления и дозирования реагентов, смесители, тонкослойные отстойники или осветлители, фильтры и установки для стабилизационной обработки воды» [15, с. 608]. На рис. 1.12 представлена технологическая схема реагентного умягчения воды с использованием осветлителей.



1,8 – подача исходной и отвод умягченной воды; 2 – эжектор; 3 – бункер для контактной массы; 4 – вихревой реактор; 5 – ввод реагентов; 6 – осветлитель со взвешенным осадком; 7 – скорый фильтр

Рисунок 1.12 – Установка известково-содового умягчения воды

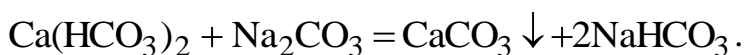
### ➤ Едконатриевый метод

Едконатровое умягчение применяется редко из-за значительно более высокой стоимости едкого натра в сравнении с содой и известью. Данный метод целесообразно использовать при невозможности размещения громоздкой аппаратуры для гашения извести и подготовки ее дозирования.

### ➤ Содово-едконатриевый метод

При содово-натриевой обработке воды используется сода и гидроксид натрия. Данный метод применим лишь в случае превышения карбонатной жесткости в отношении некарбонатной.

Для подготовки питательной воды для котлов низкого давления применяют содово-регенеративный метод ее умягчения, основанный на возобновлении соды в процессе умягчения:



Гидрокарбонат натрия под влиянием высоких температур в котле разлагается с образованием кальцинированной соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :



Образование большого количества двуокси углерода в процессе умягчения может наносить вред котельному агрегату в качестве коррозии, что является значительным недостатком данного метода.

#### ➤ **Бариевый метод**

Данный метод основан на применении карбоната, гидроксида или алюмината бария. В процессе происходит замещение ионов кальция и магния ионами бария, и образуются их слаборастворимые в воде сульфаты и алюминаты. Метод обычно совмещают с другими реагентными методами, однако в силу высокой стоимости реагентов  $\text{BaCO}_3$  или  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  достаточно редко и только для подготовки воды не направленной на питьевые нужды, так как реагенты бария токсичны.

### **Безреагентные методы**

Безреагентные методы обработки воды, такие как магнитный, термический и т.п. применяются в основном для воды с показателем карбонатной жесткости до 2 мг-экв/кг дабы предотвратить образование карбонатных отложений. Перманганатная окисляемость воды при этом должна быть не менее 6 мг/кг  $\text{O}_2$ . Данные методы «применяются преимущественно для агрегатов теплопроизводительностью не более 4,65 МВт (4,0 Гкал/ч) при температуре воды до 100 °С» [9].

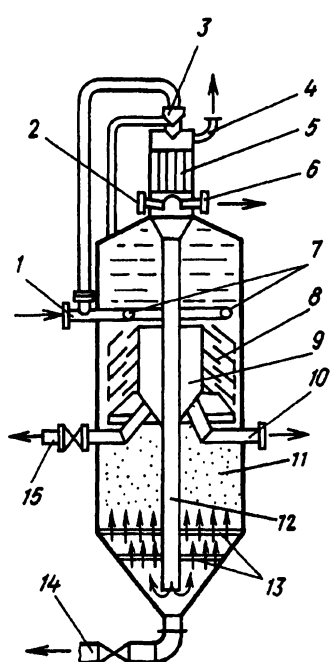
#### ➤ **Термический метод**

Термический метод умягчения воды целесообразно применять при использовании карбонатных вод, предназначенных для питания котлов низкого давления, совместно с реагентной обработкой. Данный метод

основан на смещении углекислотного равновесия при нагревании воды в сторону образования карбоната кальция и описывается реакцией:



Кипячением можно полностью удалить оксид углерода (IV) и тем самым значительно снизить карбонатную кальциевую жесткость [16, с. 474]. На рис. 1.13 представлен термоумягчитель конструкции Копьева. Аппарат используется для подготовки питательной воды для котлов низкого и среднего давления.



1, 10 – подача исходной и отвод умягченной воды; 2 – продувка котлов; 3 – эжектор; 4 – выпар; 5 – пленочный смешивающий подогреватель; 6 – выход пара; 7 – кольцевая труба подачи исходной воды к эжектору; 8 – наклонные сепарирующие перегородки; 9 – сборник умягченной воды; 11 – осветлитель со взвешенным слоем осадка; 12 – центральная подающая труба; 13 – ложные днища; 14 – дренаж; 15 – водосток

Рисунок 1.13 – Термоумягчитель Копьева

### ➤ Магнитный метод

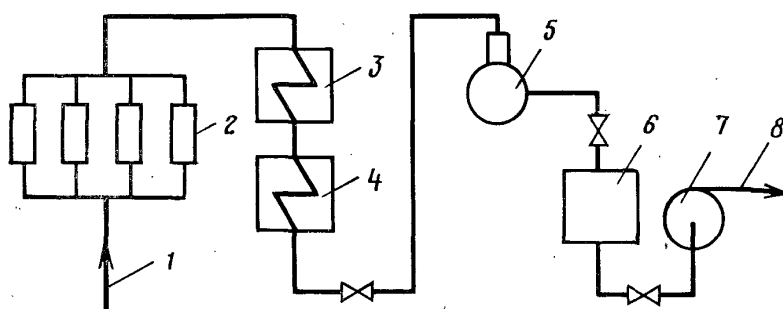
Применение магнитного метода для предотвращения накипеобразования в современном мире набирает обороты. Принцип действия метода связывают с влиянием магнитного поля на ионы, растворенных в воде солей; на коллоидные примеси воды и на структуру воды в целом.

«Обработка воды магнитным полем получила широкое применение для борьбы с накипеобразованием в конденсаторах паровых турбин, в парогенераторах низкого давления и малой производительности, в тепловых



сетях и сетях горячего водоснабжения и различных теплообменных аппаратах, где применение других методов обработки воды экономически нецелесообразно» [16, с. 496]. Основными преимуществами данного метода являются простота применения, дешевизна, безопасность, отсутствие эксплуатационных расходов.

Для омагничивания воды применяются специальные аппараты и в основном для питания паровых котлов. На рис. 1.14 представлена схема установки для магнитной обработки добавочной воды отопительных паровых котлов.



1,8 – исходная и подпиточная вода; 2 – электромагнитные аппараты; 3,4 – подогреватели I и II ступени; 5 – деаэратор; 6 – промежуточный бак; 7 – подпиточный насос

Рисунок 1.14 – Схема установки для магнитной обработки добавочной воды отопительных паровых котлов

В качестве альтернативы стандартным привычным методам умягчения воды авторами [17] была предложена емкостная деионизация (CDI). Сначала данный метод привлек внимание как перспективная технология опреснения воды, однако рассматривалась возможность применения CDI в промышленных процессах умягчения и удаления из воды тяжелых металлов. Авторами статьи сравнивались методы химического осаждения, ионного обмена, обратный осмос, нанофильтрация и электродиализ. Однако эти методы либо требуют значительного потребления электроэнергии, либо чрезмерного использования химических реагентов. Поэтому емкостная деионизация была рассмотрена как новый метод умягчения, работающий по принципу разности электрических потенциалов. Возможность использования

данного метода обуславливается притяжением между электродами и наличием в воде многовалентных ионов.

#### ➤ Диализ

«Диализ – метод разделения растворенных веществ, значительно отличающихся молекулярными массами. Он основан на разных скоростях диффузии этих веществ через полупроницаемую мембрану, разделяющую концентрированные и разбавленные растворы» [15, с. 637]. Диализ осуществляют в мембранных аппаратах с нитро- и ацетатцеллюлозными пленочными мембранами.

### 1.4 Методы дегазации

Автор дает определение данного метода, как «удаление из воды растворенных в ней или образующихся в процессе ее обработки газов» [16, с. 446]. Как правило, из воды требуется удалять углекислоту, сероводород, кислород, являющиеся коррозионно-активными и реже метан. При удалении из воды метана и его взаимодействии с воздухом помещения водообработки образуется взрывоопасная смесь. Сероводород придает воде неприятный запах.

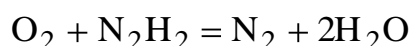
Методы дегазации воды подразделяют на физические и химические.

Углекислотная коррозия может быть в значительной мере устранена путем проведения следующих мероприятий:

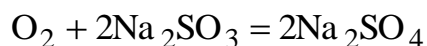
1. Декарбонизация Н-катионированной воды;
2. Обработка химочищенной воды аммиаком;

Удаление из воды кислорода производят:

1. Деаэрацией питательной воды; а также
2. Кислород связывают гидразином:



и сульфитом:



Однако недостатком использования сульфитов является искусственное увеличение солесодержания воды сульфатом натрия.

#### ➤ **Физические методы дегазации воды**

Сущность таких методов заключается в том, что вода, в которой содержится подлежащий удалению газ, приводится во взаимодействие с воздухом, при том, что парциальное давление этого газа в воздухе близко к нулю. Таким образом, создается условие, при котором растворимость газа в воде очень мала.

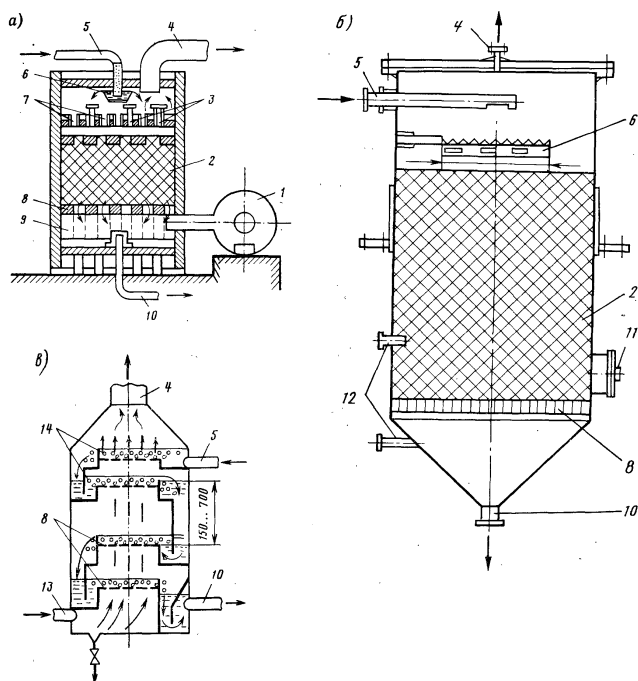
Физические методы дегазации осуществляют с помощью применения:

- аэрации воды, таким образом, обычно, подвергают удалению свободную углекислоту и сероводород ( $P_{\text{п}} \approx 0$ )
- обескислороживания воды, в случае невозможности использования аэрации ввиду значительного  $P_{\text{п}}$  кислорода в воздухе, тогда воду доводят до кипения.

### **Применение дегазаторов**

В технологических схемах водоподготовки для удаления газов, за исключением кислорода зачастую применяются пленочные дегазаторы, а для обескислороживания - термические деаэратеры либо вакуумные дегазаторы. Намного реже, в исключительных целях применяются барботажные дегазаторы из-за высокой стоимости эксплуатации.

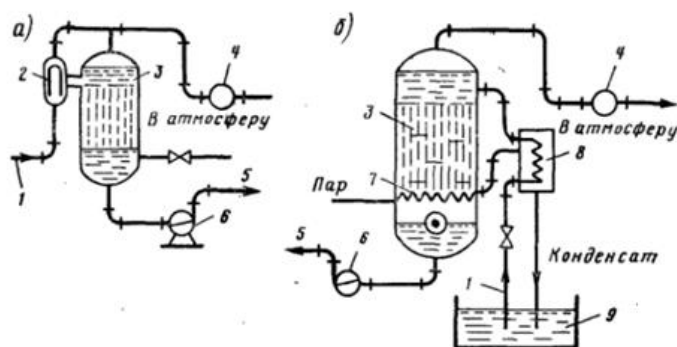
Подчеркивается, что «совершенным типом дегазатора для глубокого удаления из воды свободного диоксида углерода (IV) считают пленочный дегазатор, загруженный кольцами Рашига» [16, с.450]. Он более компактный, долговечный и обеспечивает более устойчивый эффект дегазации. Выделяют несколько типов дегазаторов: плёночные с различного рода насадками, вакуумные и пенные, представленные на рис. 1.15.



1 – вентилятор; 2 – насадка из керамических колец Рашига; 3 – газоотводный патрубок; 4 – удаление воздуха; 5, 10 – ввод исходной и отвод дегазированной воды; 6 – водораспределительная воронка; 7 – оросительные патрубки; 8 – дырчатое днище; 9 – поддон, 11 – люк, 12 – патрубки для водомерного стекла, 13 – ввод воздуха, 14 – пенный слой

Рисунок 1.15 – Устройство пленочного (а), вакуумного (б) и пенного (в) дегазатора

Необходимо отметить, что наиболее полное удаление газов происходит при разбрызгивании в вакууме с одновременным подогревом воды. На рис. 1.16 представлены схемы установок для дегазации в вакууме с подогревом и без подогрева воды.



1,5 – подача исходной и отвод дегазированной воды; 2 – воздухоотводитель; 3 – котёл; 4 – вакуум-насос; 6 – насос; 7 – подача пара; 8 – теплообменник; 9 – сборный бак

Рисунок 1.16 – Установка дегазации воды под вакуумом без подогрева (а) и с подогревом

(б)

Выбор того или иного типа дегазатора зависит от производительности установки, концентрации газа, подлежащего удалению в воздухе, необходимого эффекта дегазации, компактности установки и т.п.

### **Декарбонизация**

Под данным методом понимается «удаление оксида углерода(IV), выделяющегося в процессах водород-катионирования и анионирования» [13].

Из-за содержания в воде  $\text{CO}_2$  часть рабочей емкости анионита будет затрачиваться на его поглощение. Поэтому необходимо удалить оксид углерода из воды перед сильноосновными анионитными фильтрами.

Для удаления углекислого газа из воды обычно используются декарбонизаторы. Это аппараты, которые заполнены разнообразными распределителями воды, например насыпными или без наполнителей. Насыпные представлены в виде насадок, например кольца Палля или Рашига и др.

Декарбонизатор устанавливается либо после двухступенчатого H-катионирования, либо после первой (слабоосновной) ступени анионирования в зависимости от выбранной схемы. Последняя схема чаще используется в зарубежных разработках. Наибольшее распространение получили эжекторные (струйные, вакуумные) аппараты, работа которых основана на создании высокоскоростного потока в устройстве, где происходит вакуумирование потока с последующим подсосом воздуха в воду и его отдувкой. Такая конструкция даже при малых габаритах может обеспечить высокую эффективность удаления газов и производительность, в данном случае – свободной двуокиси углерода. Однако, при незначительном содержании в исходной воде бикарбонатов на небольших водоподготовительных станциях используют схему без установки декарбонизаторов.

## Применение деаэраторов

«Термическая деаэрация воды является основным методом борьбы с внутренней коррозией пароводяного тракта отопительно - производственных котельных, а также трубопроводов и теплообменного оборудования систем теплоснабжения.

Отсутствие глубокой деаэрации воды снижает надежность и экономичность работы оборудования тепловых установок и ведет к значительному увеличению окислов железа питательной и подпиточной воде. Это приводит к отложению вторичных накипей на поверхностях нагрева и повышению цветности подпиточной воды тепловых сетей» [18, с. 3].

Общим свойством всех существующих типов и конструкций деаэраторов является то, что все они работают за счет предварительного подогрева воды. Для обеспечения бесперебойной работы центробежных сил питательных насосов предусматривается установка двухступенчатых деаэраторов на отметке 7-8 м. При работе котельной на твердом топливе деаэратор может располагаться в здании, высота которого достигает 10-14 м. В котельных, работающих на газовом топливе или мазуте, высота зданий которых не превышает 6-7 метров, предусматривается установка деаэраторов на площадке рядом со зданием.

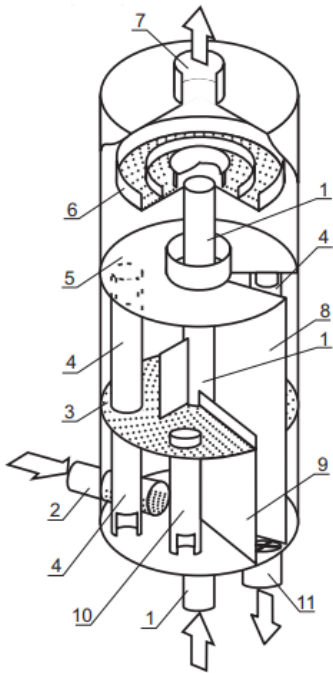
По типу термические деаэраторы подразделяются на:

– Вакуумные (применяются для обработки подпиточной воды для водогрейных котлов и тепловых сетей);

В отопительно-производственных (паровых) котельных вакуумные деаэраторы применяются крайне редко. «Для термической деаэрации подпиточной воды тепловых сетей определенное распространение получили одноступенчатые вакуумные деаэраторы струйного и пленочного типов, а также двухступенчатые деаэраторы струйно-барботажного типа» [18, с.42].

В отопительных котельных с водогрейным оборудованием для

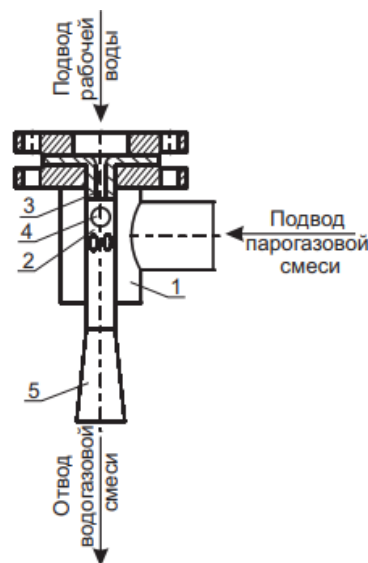
деаэрации подпиточной воды применяются одноступенчатые вакуумные деаэраторы при давлении  $0,2 \text{ кгс/см}^2$  с различной производительностью. На рис. 1.17 представлено устройство вакуумного деаэратора. Следует отметить, что в деаэрационную установку помимо самого деаэратора входят также охладитель выпара и водоструйный эжектор (рис. 1.18).



1 – труба для исходной воды; 2 – труба для подачи греющей среды (пар); 3 – барботажная тарелка; 4 – перепускная труба; 5 – перепускная тарелка; 6 – тарелка; 7 – труба для отвода в охладитель выпара; 8 – сплошная вертикальная перегородка; 9 – водосливный порог; 10 – водоперепускная труба; 11 – труба для отвода воды

Рисунок 1.17 – Устройство вакуумного деаэратора

В качестве воздухоотсасывающего устройства (водоструйный эжектор) также может применяться пароструйный эжектор или вакуумный насос.



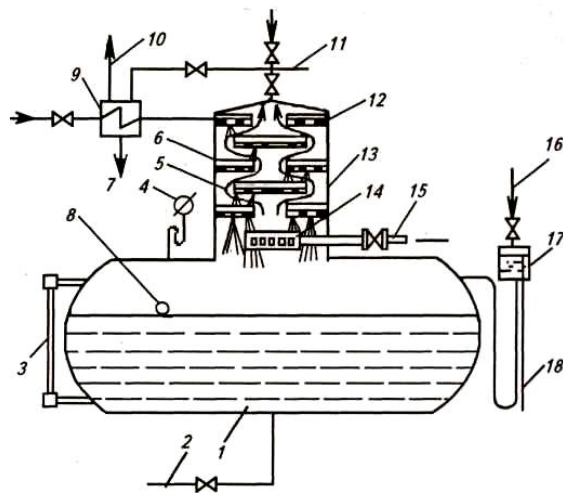
1 – входная камера; 2 – камера смешения; 3 – сопло; 4 – окно; 5 – диффузор

Рисунок 1.18 – Устройство водоструйного эжектора

– Атмосферного типа (применяются подпитки тепловых сетей, подготовки добавочной воды ТЭС и питательной воды испарителей);

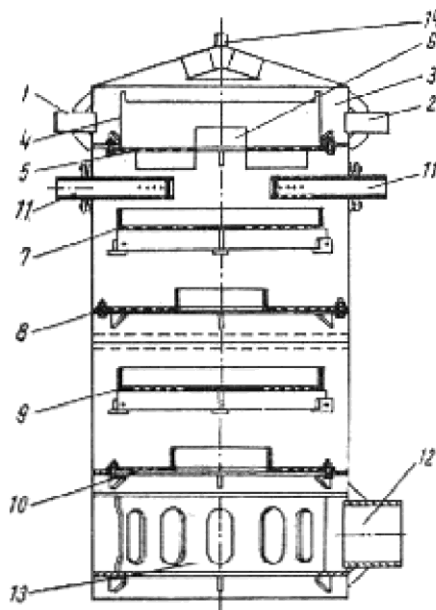
В промышленности, особенно в отопительно-производственных котельных (теплоноситель-пар) распространение получили одноступенчатые деаэраторы атмосферного давления струйного типа (рис. 1.19). «Струйные деаэраторы представляют собой аппараты, в которых вода с помощью дырчатых тарелок распределяется на струи, стекающие сверху вниз последовательно виде нескольких каскадов. Снизу вверх по деаэратору противотоком движется пар. Обтекание паром водяных струй приближается к поперечному. Установка нескольких тарелок по высоте колонки замедляет скорость прохождения воды и увеличивает время ее пребывания в деаэраторе» [18, с. 17]. На баке-аккумуляторе устанавливается деаэрационная колонка атмосферного давления струйного типа (рис. 1.20). Однако такие деаэраторы имеют ряд недостатков, как например, повышенная металлоемкость и излишняя сложность внутреннего устройства. Деаэраторы атмосферного типа запроектированы на рабочее давление  $12 \text{ кгс/см}^2$  и температуру не менее  $104^\circ\text{C}$ . Широкое распространение в промышленной энергетике получил барботажный деаэратор атмосферного давления и струйно-барботажный деаэратор с непровальной тарелкой в паровом пространстве аккумуляторного бака. Деаэраторы, работающие на атмосферном давлении выполняются как в горизонтальном, так и в вертикальном исполнении.





1 – деаэрационный бак; 2 – отвод деаэрированной воды; 3 – водоуказательное стекло; 4 – манометр; 5, 6, 12 – тарелки; 7 – спуск воды в дренажный бак; 8 – регулятор уровня; 9 – охладитель выпара; 10 – выпуск пара в атмосферу; 11, 14, 15 – трубы и патрубок подачи пара; 13 – колонка деаэраатора; 16 – впуск воды в гидрозатвор; 17 – гидрозатвор; 18 – перелив воды из гидрозатвора

Рисунок 1.19 – Принципиальная схема деаэрационной установки атмосферного давления



1, 2, 11, 14 – штуцер; 3 – открытая камера смешения; 4 – водосливный порог; 5, 7, 8, 9, 10 – тарелка; 6 – горловина для прохода выпара; 12 – трубопровод; 13 – коллектор

Рисунок 1.20 – Деаэрационная колонка атмосферного давления струйного типа – Повышенного давления (для подготовки питательной воды энергетических котлов с давлением пара более 9,8 МПа);

Иностранные инженеры решили шагнуть дальше и отойти от привычных нам установок для удаления кислорода из воды, предназначенной

для теплофикационных систем. Так, авторами статьи [19], был представлен экспериментальный аппарат для дезоксигенирования (удаления кислорода). Аппарат представляет собой резервуар, который герметизируют и продувают чистым азотом (99,98%) для достижения максимального эффекта.

Дезоксигенация в этом аппарате достигается двумя физическими механизмами: барботирование азота и поверхностное поглощение. По истечению времени азот практически полностью поглощается водой, при этом вытесняя кислород. Однако пока аппарат применим лишь для изучения коррозии в лабораторных условиях.

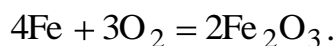
#### ➤ **Химические методы дегазации воды**

Сущностью химических методов удаления из воды растворённых газов является их химическое связывание, которое достигается путем введения реагентов или фильтрованием через специальные загрузки.

Обескислороживание воды достигается следующими способами:

- фильтрованием воды через легко окисляющиеся стальные стружки

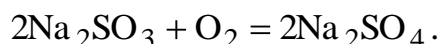
Перед применением стальных стружек их обезжиривают и загружают в фильтр. В процессе происходит связывание кислорода окисляющимся железом, как представлено в формуле:



Образовавшийся оксид или гидроксид железа (III) удаляется с помощью обратной промывки.

- посредством обработки сульфитом натрия

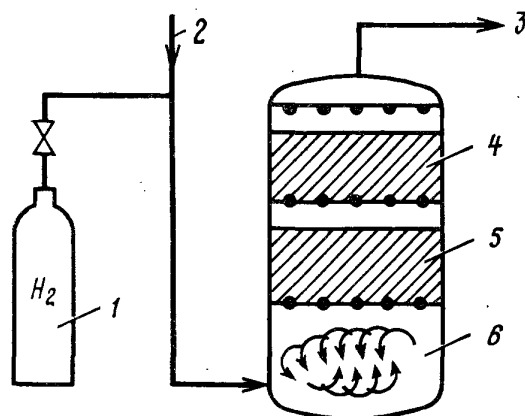
Обработка воды сульфитом натрия является самым распространенным реагентным способом связывания кислорода:



- фильтрованием через электронно-обменные и электронно-ионообменные смолы (способ без подогрева воды);

Электронно-обменные смолы представляют собой катиониты или аниониты с добавленным в них медью или железом. На рис. 1.21

представлена схема по удалению кислорода ионообменником, заряженным палладием.



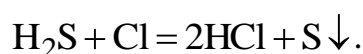
1 – баллон с водородом; 2,3 – ввод исходной и отвод обескислороженной воды; 4 – ионообменник заряженный палладием; 5 – слой инертной смолы; 6 – камера смешения

Рисунок 1.21 – Установка обескислороживания воды ионообменником с палладием  
– в электролизерах с растворимыми железными или алюминиевыми электродами (процесс химического окисления железа или алюминия кислородом за счет катодной и анодной деполяризации).

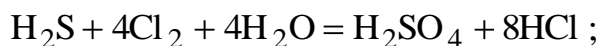
Нормативные значения концентрации сероводорода в питьевой воде приведены в [7] и составляют 0,003 мг/л. Для удаления сероводорода из воды химическими методами используют:

– окисление кислородом воздуха или гидроксидом железа. При аэрации обрабатываемую воду подкисляют раствором соляной или серной кислоты до значений pH ~6. Гидроксид железа вступает во взаимосвязь с сероводородом и гидросульфидом, образуя сульфид железа и серу. Содержание сероводорода в процессе обработки снижается до значений не ниже 0,05 мг, что удовлетворяет требованиям [7];

– окисление хлором до свободной серы или серной кислоты:

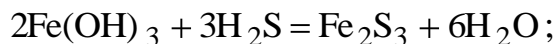


Недостатком метода является то, что образовавшуюся коллоидную серу необходимо удалить, а слишком большие дозы хлора окисляют сероводород до серной кислоты:

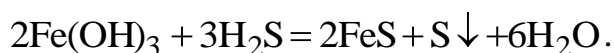


Возможна и довольно действенна обработка воды с сероводородом гидроксидом железа (III) с последующей регенерацией сульфида железа (II), который образовывается согласно формуле:

в щелочной среде



В нейтральной среде



Таким образом, вода не только освобождается от содержащегося сероводорода, но и теряет коррозионные свойства, а после непродолжительного времени (2-3 ч.) в отстойниках вполне пригодна для технологических нужд.

- озонированием (с образованием коллоидной серы);
- фильтрованием через модифицированную загрузку. Данный метод был предложен авторами [15] и «заключается в адсорбции ионов сероводородных соединений на зерна фильтрующей загрузки». Является практически безотходным по сравнению с другими методами по удалению сероводорода и направлен на повышение надежности охраны окружающей среды.

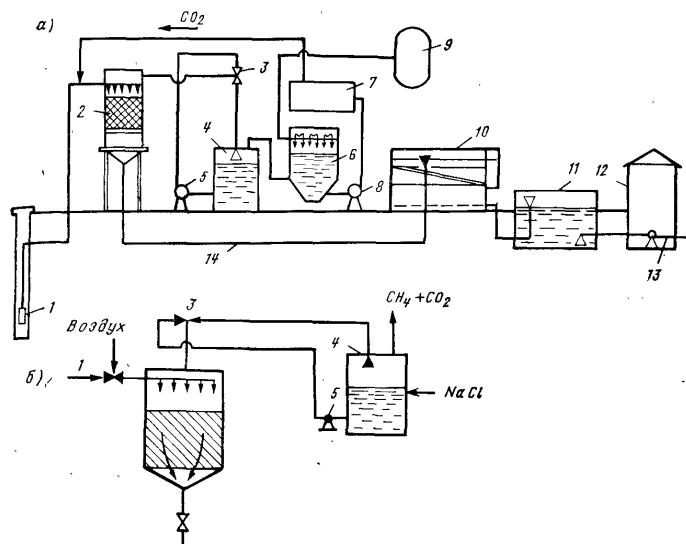
Кроме того, существуют биохимические методы, широко описанные в [20], такие как:

- биохимический метод удаления сероводорода из подземных вод. В данном случае участие в окислении сульфидных вод принимают серобактерии или тиобактерии. Однако применение этого метода имеет ряд особенностей;
- очистка от сероводорода в аэротенках, биофильтрах и аэрофильтрах;
- очистка воды от сероводорода в реакторе биохимического окисления

Для удаления из подземных вод такого газа как метан авторами [16] была разработана технология взрывоопасного удаления, которая исключает выброс удаляемых газов в атмосферу. Такая схема (рис. 1.22) позволяет

утилизировать метан и его гомологи, что положительно влияет на сохранность экологии.

«Вакуум в дегазаторе создают с помощью эжектора, а для продувки воды используют азот или углекислоту».



1 – подача исходной воды из скважины, 2 – вакуумный дегазатор, 3 – эжектор, 4 – промежуточная емкость с высокоминерализованной водой, 5 – циркуляционный насос, 6 – бак для раствора извести, 7 – электропечь, 8 – насос для перекачки пульпы  $\text{CaCO}_3$ , 9 – газгольдер для метана, 10 – ступень дальнейшей обработки воды, 11 – резервуар чистой воды, 12 – насосная станция II подъема, 13 – отвод воды потребителю, 14 – отвод дегазированной воды

Рисунок 1.22 – Технологическая схема удаления метана из подземных вод вакуумным способом с предварительным насыщением исходной воды воздухом (б) или инертным газом (а)

### Коррекционная обработка комплексонами

Комплексонами называют группу веществ, способных образовывать устойчивые соединения с катионами металлов. Такого рода вещества применяются для стабилизационной обработки воды и с их помощью можно решить ряд проблем водоподготовки, таких как ингибирование коррозии и удаление отложений накипи с поверхностей теплообменного оборудования.

«Технология проведения стабилизационной обработки воды кислотой, щелочью, фосфатами и комплексонами, практически одинакова и заключается в пропорциональном дозировании реагентов в обрабатываемую

воду» [21, с. 141]. Концентрация реагентов зависит от качеств исходной воды и назначения обработанной воды и вида систем.

## **1.5 Методы обезжелезивания, деманганации и обесфторивания**

### **Метод обезжелезивания**

В подземных водах из артезианских скважин железо обычно содержится в виде бикарбоната закисного железа  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ . Согласно ГОСТ «при использовании подземных вод, содержащих ионы двухвалентного железа в количестве более 0,5 мг/л, должно производиться обезжелезивание воды» [22].

При высоком содержании железа вода обладает неприятными вкусовыми качествами. Дабы избежать загрязнения фильтра, ввиду влияния ионов марганца и железа на ионообменные смолы, в качестве предварительной ступени водоподготовительных установок применяется их удаление. Железо служит источником образования накипи на поверхностях нагрева в теплоэнергетическом оборудовании (паровые и водогрейные котлы, теплообменники). Поэтому существуют установленные нормы предельного содержания железа в воде на входе, поступающей на обработку в электродиализные, магнитные и баромембранные аппараты. Очистка воды от железа производится комплексно. В связи с тем, что существует разнообразное множество форм железа, для выбора наиболее подходящего метода обезжелезивания производится пробное удаление железа из воды. В соответствии с требованиями [12] «метод обезжелезивания воды, расчетные параметры и дозы реагентов следует принимать на основе результатов технологических изысканий, выполненных непосредственно у источника водоснабжения».

Концентрация железа в подземных водах в зависимости от географического расположения источника варьируется от 0,5 до 50 мг/л. Высокое содержание железа встречается в водах Поволжья и Дальнего Востока (более 15-20 мг/л), а также других регионах России.

В случае присутствия в воде железа менее 0,3 мг/л может проявляться мутность и цветность, но запах не ощущается. Однако при значениях превышающих 0,3 мг/л на белье могут оставаться пятна.

«Железо способствует также развитию «железобактерий», которые получают энергию при окислении  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$ , в результате чего в трубопроводах и на оборудовании образуется скопление слизи» [23, с.102].

Обезжелезивание подземных вод производят с помощью фильтрования, которое совмещается с одним из различных способов предварительной обработки:

- 1) упрощенная аэрация;
- 2) аэрация на специальных устройствах;
- 3) коагуляция и осветление;
- 4) введение таких реагентов-окислителей, как хлор, гипохлорит натрия или кальция, озон, перманганат калия.

Ссылаясь на обоснование, можно применить ряд методов, включая катионирование, флотацию, электрокоагуляцию, диализ и т.п.

Автором указано, что «для удаления из воды железа, содержащегося в виде коллоида гидроксида железа  $Fe(OH)_3$  или в виде коллоидальных органических соединений, например гуматов железа, используют коагулирование сульфатом алюминия или оксихлоридом алюминия, или железным купоросом с добавлением хлора или гипохлорита натрия» [21, с. 113].

Для фильтров в данном случае наполнителями могут служить сульфоуголь, песок, керамзин, антрацит или пиролюзит и другие фильтрующие материалы с каталитическими свойствами, способные окислять железо в трехвалентное.

### **1) Упрощенная аэрация**

Процесс аэрации протекает посредством окисления двухвалентного железа кислородом воздуха. Окисление двухвалентного железа в ходе аэрации сопровождается удалением из воды углекислоты. Это в свою

очередь ускоряет процесс окисления и образование гидроксида железа при гидролизе.

При использовании данного метода, вода, содержащая железо (II) и обогащенная кислородом в ходе аэрации, подается на фильтр, в толще которого происходит реакция окисления. Таким образом, на зернах загрузки образуется каталитическая пленка из ионов железа, которая делает процесс обезжелезивания более интенсивным. При помощи пленки процесс окисления становится интенсивным и происходит выделение соединений железа из воды. В начале процесса удаления железа производится физическая сорбция, то есть «при поступлении в фильтр исходной воды на поверхности наполнителя образовывается мономолекулярный слой соединений железа».

Пленка выступает в качестве сильного адсорбента губчатой структуры и одновременно катализатора окисления двухвалентного железа. Подчеркивается, что ухудшение каталитических свойств пленки объясняется наличием в обрабатываемой воде таких примесей как аммиак, сероводород, коллоидная кремниевая кислота и свободная углекислота. Указанный метод применим при следующих количественных показателях воды:

Согласно [12, п. 9.148] «Упрощенную аэрацию допускается применять при следующих показателях качества воды:

- содержание железа (общего) до 10 мг/л;
- в том числе двухвалентного ( $\text{Fe}^{2+}$ ) не менее 70%;
- рН не менее 6,8;
- щелочности более  $(1+\text{Fe}^{2+}/28)$  мг-экв/л;
- содержание сероводорода не более 2 мг/л».

В случае несоблюдения вышеуказанных условий применяется предварительная аэрация с добавлением реагентов, таких как перманганат калия, хлор и пр. Стоит отметить, что при содержании в обрабатываемой воде железа в виде сульфата  $\text{FeSO}_4$  процесс аэрации не обеспечит его удаление. Дело в том, что при растворении солей железа образуется кислота,



понижающая значения водородного показателя менее 6,8. В результате процесс гидролиза практически прекращается. В целях удаления образовавшейся кислоты осуществляется её известкование с осаждением плохо растворимого гипса  $\text{CaSO}_4$ .

Процесс известкования требует дальнейшего отстаивания воды и её фильтрацию. Упрощенная аэрация происходит посредством излива с высоты 0,5-0,6 м над уровнем воды в карман или центральный клапан открытых фильтров. Авторами указано, что «при использовании напорных фильтров воздух вводят непосредственно в подающий трубопровод на расстоянии, равном не менее 10 диаметров трубопровода, с нормой расхода 2 л на 1 г железа ( $\text{Fe}^{2+}$ )» [21, с. 114]. Однако в том случае если содержание свободной углекислоты в исходной воде превышает 40 мг/л и значения сероводорода свыше 0,5 мг/л, то воздух не подается в трубопровод. Данный случай требует установки промежуточной емкости и повысительного насоса перед напорным фильтром. Расчетная скорость фильтрации при осуществлении обезжелезивания упрощенной аэрацией определяется согласно [12]. Требуется, чтобы при нормальном режиме работы фильтров длительность между промывками составляла не менее 8-12 часов, при форсированном режиме или полной автоматизации промывки фильтра - не менее 6 часов.

## **2) Аэрация в специальных устройствах**

Согласно [12, п.6] «Аэрацию на специальных устройствах (аэраторах) или введение реагентов-окислителей следует принимать при необходимости увеличения количества удаляемого железа и повышения рН воды». Таким образом можно произвести удаление из воды железа содержанием превышающем значение 10 мг/л и повышение показателя рН до 6,8 и выше. Авторами справочника указывается, что «для этого используют вентиляторные градирни (дегазаторы) или контактные градирни с естественной вентиляцией» [21, с. 114]. В таких установках подача исходной воды осуществляется в верхнюю часть градирни, которая заполнена

керамической насадкой – кольцами Рашига. Принцип работы установки состоит в следующем: в процессе аэрации воздуха, подаваемого вентилятором навстречу водному потоку, происходит выделение углекислоты  $\text{CO}_2$ , а также её обогащение кислородом, что окисляет железо. После осуществляется завершение образования хлопьев гидроксида железа (III) в объеме наполнителя фильтра, который их задерживает.

Распространение получили установки для обезжелезивания, работающие по принципу так называемой «сухой фильтрации». По этому методу исходная вода фильтруется через незатопленную сухую фильтрующую загрузку. Верхний слой обычно состоит из крупного кокса или гравия для более равномерного распределения воды по площади загрузки, нижний – из песка толщиной 1,5 – 2 м. В исходную воду подается воздух. Иногда он поступает в нижнюю часть установки, а удаляется из верхней по принципу противотока. Скорость фильтрования 4-15 м/ч. Эти фильтры не промывают, достаточно менять загрузку 1 раз в несколько лет. При исходном содержании железа 2,5 мг/л содержание его в фильтрованной воде снижается примерно до 0,5 мг/л, при этом уменьшается также содержание марганца.

При обезжелезивании воды методом сухой фильтрации при  $\text{pH} \sim 7$  образуется менее влажный кристаллический осадок окиси железа, а при  $\text{pH} \sim 8$  – карбонат железа в отличие от осадка гидроксида железа влажностью более 96%, который образуется при применении метода аэрации и упрощенной аэрации и фильтрования. Одновременно образуется и аморфный и кристаллический осадки, с меняющимися соотношениями в зависимости от условий проведения реакции. Образованию кристаллического осадка способствует турбулентность в методе сухой фильтрации. Поверхность загрузки, покрытая соединениями железа, играет роль ядер кристаллизации [20].

### **3) Коагулирование, осветление, флокулирование**

Данный метод применим для удаления веществ, вредно влияющих на состояние ионитов и способных ухудшить работу теплосилового оборудования. Отмечается, что «к таким веществам относятся механические примеси (взвесь), органические соединения, соединения железа, нереакционноспособные соединения кремния» [24]. Крайне важно удалять подобные загрязнения на установках предочистки химического обессоливания из воды, применяемой в качестве добавочной для прямоточных котлов.

Коагулянт образует в воде хлопья, на поверхности которых адсорбируются коллоиды, и выделяются в виде осадка. «На водоподготовительных установках электростанций в качестве коагулянтов применяются соли алюминия и железа, главным образом сернокислые. Для предварительной очистки воды методом коагуляции обычно используется сернокислый алюминий» [24, п. 9]. С целью повышения эффективности процесса коагуляции в воду дополнительно вводят флокулянты, такие как, например полиакриламид.

### **4) Введение реагентов-окислителей**

Данный метод применим «при повышенном содержании железа и низких значениях рН, присутствии в воде сероводорода, где невозможно избавиться от растворенного железа кислородом воздуха, в воду вводят реагенты – окислители. В первую очередь хлор, с целью обеззараживания, а также удаления железа. Хлорирование почти во всех случаях освобождает воду от содержащегося в ней железа. После обработки разных вод этим методом содержание железа во всех случаях становится меньше 0,1 мг/л, причем метод эффективен, когда другие приемы не работают. Под действием хлора происходит разрушение гуматов и других органических соединений железа и переход их в форму неорганических солей трехвалентного железа, которые легко гидролизуются. В результате гидролиза выпадает осадок или

гидроксида железа, или продуктов неполного гидролиза – основных солей железа различного состава» [25, с. 4].

Хлор служит сильным окислителем ионов двухвалентного марганца при значениях pH воды в пределах от 8 до 8,5, для достижения чего требуется предварительное подщелачивание. «Обработку воды хлором осуществляют с помощью хлораторов, в которых газообразный (испаренный) хлор абсорбируют водой. Хлорную воду из хлоратора подают к месту потребления» [25, с. 5]. Несмотря на распространенность, данный метод имеет ряд недостатков, таких как трудность транспортировки и обеспечение должных условий хранения больших объемов жидкого хлора, связанных с его высокой токсичностью.

Существует альтернативный вариант, в качестве которого в последнее время используют для обработки раствор гипохлорита натрия (NaClO). Применение этого метода водоподготовки возможно повсеместно как на больших объектах, так и в домах.

### **5) Внутрипластовое обезжелезивание подземных вод**

Альтернативой наземной очистки подземных вод от железа и марганца с использованием дорогостоящих реагентов служит переход к геотехнологическим методам, которые позволяют произвести очистку подземных вод непосредственно на водозаборных сооружениях – в водоносном пласте. Это позволяет избавиться от необходимости обработки, складирования и захоронения отходов.

Сущность технологии заключается в том, что процесс окисления и осаждения железа из подземных вод протекает прямо в водоносном пласте. По принципу естественного природного фильтра действуют водовмещающие породы. Достигается это путем создания вокруг водозаборных скважин искусственных геохимических барьеров с окислительной обстановкой посредством подачи насосами в пласт аэрированной воды. Аэрация воды происходит при помощи компрессоров или эжекторов. Выбранный режим работы установки создает достаточно большие зоны окисления в пласте для

того, как указывает автор, «чтобы процессы осадконакопления не смогли повлиять на производительность водозаборных скважин в течение всего срока их эксплуатации» [26, с. 20].

Для каждой скважины циклы закачки азрированной воды и откачки подземной воды чередуются, причем объем выкачиваемой воды ограничивается допустимым содержанием железа. Объем очищенной воды в процессе увеличивается, становится стабильным по данным работы в зависимости от гидрохимических и гидрогеологических условий на 3-30 циклах.

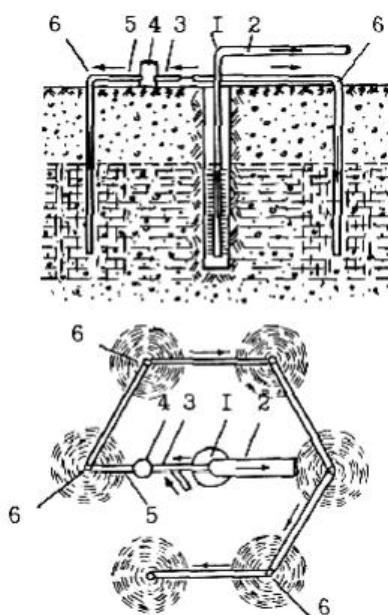
По соотношению объемов очищенной и закачанной воды можно судить о явной эффективности применения технологии внутрипластового обезжелезивания. Необходимо подчеркнуть, что объем откачанной из скважины воды с показателем железа в пределах нормы превышает количество закачанной воды в интервале от 2 до 20 раз. Существует разнообразное множество установок обезжелезивания циклического типа. За рубежом большое распространение получили многоскважинные установки. Такие установки работают по принципу подачи в пласт азрированной воды за счёт специальных скважин, размещаемых в 5-10 метрах по радиусу от эксплуатационной. «Такие установки в основном используют при очистке подземных вод неглубоко залегающих горизонтов в схемах водоснабжения небольших объектов» [1, с.214]. Существует способ, получивший название «Виредокс» (рис. 1.23) впервые был разработан и применен в Финляндии и Швеции. Данный способ используется для очистки воды от железа при его содержании в воде до 5 мг/л, и марганца до 0,4 мг/л. Значения рН при этом более 5.

В отечественной практике применяются однокважинные установки. «В зависимости от конкретных гидрогеологических условий и технического состояния скважин установки выполняются в двух модификациях: со свободным наливом или с принудительной закачкой в пласт азрированной воды. Данный тип установок работает по схожему принципу: обсадная

колонна в роли барботажа, в которой происходит «полное смешение воды с воздухом, разделение смеси и удаление избытка воздуха и отдуваемых из воды газов ( $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ )» [1, с. 215].

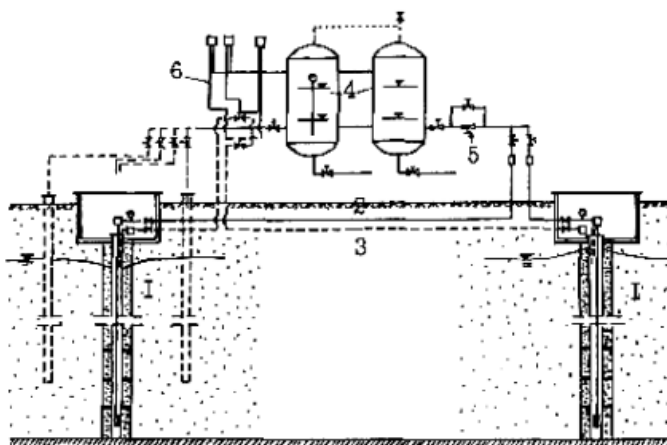
Фирмой производителем «Вирметодор» была предложена усовершенствованная и более экономически выгодная установка «Виредокс-2». Принципиальное её отличие заключается в том, что во всех поглощающих скважинах установлены погружные насосы, работающие независимо от насоса в центральной скважине и включающиеся периодически. Способ «Виредокс» запатентован и используется в ряде стран – США, Японии, Франции, Германии и России.

В НИИ ВОДГЕО был разработан способ обезжелезивания воды под названием «Субтерра», который обеспечивает и подачу воды и отбор обработанной воды непосредственно через эксплуатационную водозаборную скважину, рис. 1.24.



1 – водозаборные скважины, 2 – трубопровод подачи воды потребителю, 3 – трубопроводы подачи воды в пласт, 4 – устройство для ввода реагентов или аэрации воды, 5 – трубопроводы подачи воды в пласт, 6 – поглощающие скважины

Рисунок 1.23 – Схемы установок обезжелезивания в пласте типа «Виредокс»



1 – водозаборные скважины, 2 – напорные трубопроводы, 3 – трубопроводы подачи аэрированной воды в пласт, 4 – напорные пневматические ёмкости, 5 – воздушный эжектор, 6 – блок управления

Рисунок 1.24 – Схема установок обезжелезивания в пласте фирмы «Субterra»

### Деманганация воды

Марганец принадлежит к достаточно распространенным элементам в природе. Небольшие количества марганца встречаются в горных породах. Распыленный по ним, марганец вымывается водой и попадает в подземные воды и реки.

В природных водах марганец может находиться в различных соединениях, однако преимущественно в форме бикарбоната двухвалентного марганца  $Mn(HCO_3)_2$ , хорошо растворимого в воде.

Концентрация марганца в подземных водах колеблется от 0,5 до 2-3 мг/л. В поверхностных водах его содержание незначительно. Согласно [7, прил. 2] содержание марганца в воде, поступающей в источники водоснабжения не должно превышать 0,1 мг/л.

Некоторые производства, например, предъявляют жесткие требования к содержанию в воде марганца, такие как бумажное, производство текстиля, синтетических волокон и пластмасс и др.

Как изложено в [20, с. 81] «образующийся при наличии в воде марганца осадок гидрата окиси четырехвалентного марганца  $Mn(OH)_4$  имеет бурочерную окраску и остается в виде пятен на ряде материалов. Этот осадок

может образовывать отложения в трубах, часто в результате совместного осаждения соединений марганца и железа».

Окисление двухвалентного марганца  $Mn^{2+}$ , содержащегося в подземных водах, до его трех- или четырехвалентной формы протекает достаточно медленно. Авторами в [20] представлены следующие методы по удалению марганца из воды:

- обработка воды перманганатом калия
- аэрация, совмещенная с известкованием
- фильтрование воды через марганцевый песок или катионит
- окисление марганца озоном, хлором или двуокисью хлора

### **1) Глубокая аэрация с последующим фильтрованием**

«Этот метод применяется обычно при обезжелезивании подземных вод, но может быть также использован в случае одновременного присутствия в воде марганца и железа» [20, с. 98].

Суть метода заключается в частичном удалении углекислоты и насыщении кислородом при аэрации воды. В этом случае значение pH воды возрастает, ускоряя процессы окисления и гидролиза железа и части марганца. Так образуются гидроокиси железа и соответственно марганца, и происходит их коагуляция.

Двухвалентный марганец медленно окисляется в трех и четырехвалентный растворенный в воде кислородом воздуха. В отличие от двухвалентного железа подземных вод, которое достаточно быстро окисляется растворенным в воде кислородом при  $pH \sim 7$ , окисление двухвалентного марганца с практически необходимой скоростью происходит при  $pH \sim 9 \dots 9,5$ .

В процессе фильтрования прошедшей аэрирование и подщелачивание воды сквозь песчаный фильтр, содержащийся в ней марганец, выпадает на поверхности зерен песка в виде отрицательно заряженного осадка  $Mn(OH)_4$ . Для ускорения процесса образования пленки  $Mn(OH)_4$  на зернах загрузки



фильтра во время пуска установки следует вводить в воду до 3 мг/л перманганата калия. При контакте аэрированной воды с катализатором  $Mn(OH)_4$  удаление из воды марганца до 0,1 мг/л происходит при  $ph=8,5$ , а при  $ph=9,5$  марганец удаляется из воды полностью.

При значениях  $ph$  ниже 7...7,5 даже в присутствии катализатора, находящийся в воде марганец не окисляется кислородом воздуха.

Рационально удалять марганец из воды подщелачиванием при условии необходимости совместного умягчения. Однако при необходимости произвести только очистку от марганца и железа без умягчения, то подщелачивание воды до значений  $ph \sim 10$  может привести к серьезному усложнению процесса водоподготовки.

В процессе подщелачивания при высоких значениях водородного показателя происходит умягчение воды с образованием взвесей  $CaCO_3$  и  $Mn(OH)_2$ . Для задержания этих взвесей, а также выделившейся гидроксиды марганца нужны осветлители или отстойники.

Так как вода, поступающая на фильтры после осветлителей или отстойников нестабильна, в результате в фильтрах может происходить обрастание песка карбонатом кальция.

Наконец, завершать очистку нередко приходится подкислением воды для предотвращения зарастания труб карбонатом кальция и доведения  $ph$  воды до значения, требуемого по [7].

## **2) Деманганация перманганатом калия**

Перманганат калия окисляет  $Mn^{2+}$  с образованием малорастворимой двуокиси марганца. Аналогичным образом окисляется находящееся в растворе двухвалентное железо с образованием осадков  $Fe(OH)_3$  и  $MnO_2$ , задерживаемых фильтрами.

Обработка воды перманганатом калия приводит к разложению комплексов, окислению марганца и двухвалентного железа и интенсивной коагуляции получающихся окисленных соединений. В результате

последующей коагуляции сернокислым глиноземом, отстаивания и фильтрования воды достигается очистка ее от этих соединений.

Технологический процесс при обработке воды перманганатом калия предусматривал предварительное хлорирование, коагуляцию сернокислым глиноземом с добавкой полиакриламида, отстаивание воды и фильтрование. Дозы перманганата калия, установленные расчетами и пробным титрованием, составляют с учетом работы фильтра 7-9 мг/л.

Для удаления марганца из подземных вод лучше всего использовать напорные фильтры (типа Н – катионитовых), загруженные крупнозернистым песком с диаметром зерен 1-2 мм и высотой слоя 1200 мм. Схема установки представлена на рис.

На станциях обезжелезивания воды обработка перманганатом калия может применяться для интенсификации очистки воды от марганца, при этом аэрации воды, не требуется, за исключением случаев, когда она необходима для стабилизации воды путем удаления агрессивной углекислоты.

### **3) Каталитическое окисление марганца**

Как ранее рассматривалось, скорость окисления двухвалентного марганца растворенным в воде кислородом в большей степени зависит от водородного показателя воды. При pH менее 8 без катализатора окисление  $Mn^{2+}$  практически невозможно. Катализаторами этого процесса являются высшие окислы марганца.

Уточняется, что «процесс окисления двухвалентного марганца в трех- и четырехвалентный резко ускоряется, если аэрированную воду фильтруют через контактный фильтр, загруженный дробленым природным минералом пиролюзитом  $MnO_2 \cdot H_2O$ , либо через обычный кварцевый песок, предварительно обработанный окислами марганца («черный песок»). Пиролюзит и «черный песок» в данном случае играют роль катализаторов, ускоряющих процесс окисления марганца» [20, с.101].

В ряде зарубежных стран [27] довольно широкое распространение получил метод удаления из воды марганца с помощью марганцевого катионита.

Марганцевый катионит производится из любого Na катионита посредством последовательного пропуска через него перманганата калия и раствора хлористого марганца.

В процессе окисления марганца перманганатом калия на поверхности зерен катионита образуется пленка, образованная из его окислов. Регенерация катионита производится соответственно раствором перманганата калия.

По данным [27] расход  $\text{KMnO}_4$  на регенерацию марганцевого катионита составляет 0,6 г на 1 г удаленного марганца. Используя данный метод можно снизить содержание марганца до 0,1 мг/л.

В случае содержания в воде железа и марганца, рекомендуется подавать на фильтры воду после обезжелезивания, чтобы сократить расход  $\text{KMnO}_4$ . Однако данный способ не прижился в отечественной практике водоподготовки ввиду больших денежных затрат.

#### **4) Введение реагентов-окислителей**

Марганец может быть удален из воды окислением его в  $\text{Mn}^{+3}$  хлорированием, озонированием, обработкой воды двуокисью хлора. Однако скорость окисления непосредственно зависит от показателя pH воды. При его значениях свыше 7...7,5 путем подщелачивания воды известью можно ускорить процесс окисления до 60-90 минут, при этом остаточная концентрация марганца составляет 0,05-0,1 мг/л.

Из существующих окислителей наибольшее практическое применение для удаления из воды марганца имеет хлор. Однако эффективность метода достигается лишь при значениях pH воды свыше 8...8,5, в этом случае требуется предварительное подщелачивание воды. Для этого требуется обеспечение реагентного хозяйства на очистных сооружениях для включения в технологическую схему водоподготовки извести и соды.

Расход хлора на окисление 1 мг марганца в отсутствие  $\text{NH}_4^+$  составляет 1,3 мг, но при наличии в воде аммонийных солей расход увеличивается до величины, необходимой для образования и окисления хлораминов.

«Озон и двуокись хлора – сильные и эффективные окислители, однако для их применения требуются сложные в строительстве и эксплуатации установки, а поэтому в отечественной практике водоподготовки для очистки воды от марганца они не нашли применения» [20, с.102].

Марганец также может быть удален из воды путем осуществления биохимического процесса. Сущность метода заключается в том, что на песке фильтра высевается особый вид марганце-потребляющих бактерий типа *Metallogenium personatum*, *Caulococcus manganifer*, *Bacteria manganicus*, которые в процессе жизнедеятельности поглощают из воды марганец. Данный метод применяется и для артезианских вод, содержащих от 0,2 до 1 мг/л марганца и от 1 до 1,2 мг/л железа. В установке, состоящей из двух фильтров загруженных песком высотой 1,5 м, который засеян бактериями *Caulococcus manganifer*, возможно добиться полного удаления из воды марганца и железа.

Авторами заключается «таким образом, рассмотрение методов удаления марганца из природных вод показывает, что наиболее эффективна обработка воды перманганатом калия. При применении этого реагента не требуется сложного оборудования, и дозирование его на очистных сооружениях поддается простому визуальному и химическому контролю» [20, с.103].

### **5) Внутрипластовая деманганизация подземных вод**

Удаление марганца из подземных вод в пласте производится в условиях достаточно высокого значения рН. При закачке в скважину воды, которая содержит растворённый кислород, происходит окисление  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$ , их осаждение и задержание в порах водовмещающих пород. Полагается, что в данном случае на процесс деманганизации значительное влияние оказывают железо- и марганец-бактерии. Метод внутрипластовой

деманганизации относительно простой и достаточно экономичный, но в то же время, не всегда обеспечивающий надлежащую степень удаления марганца из воды. Считается, рациональным его использование при содержании в подземных водах до 0,5 мг/л и высоком рН [26, с.25].

### **Обесфторивание**

Фтор образует соединения с большинством элементов, распространен широко, он находится в рудах, минералах, почве, растительности и т.п. Содержание фтора в природных водах колеблется от 0,01 до 12 мг/л. Концентрация фтора в артезианской воде постоянна и достигает значений, превышающих ПДК, что составляет 1,5 мг/л. Согласно [7, табл.5] нормативное содержание фторид-иона в питьевой воде в пределах 0,5-1,5 мг/л.

Следует отметить, что избыток фтора в питьевой воде при длительном ее употреблении вызывает у людей болезнь под названием флюороз, известен как «гипоплазия» или крапчатость эмали зубов. Поэтому для предотвращения заболеваний, воду, содержание фтора которой превышает допустимые нормы, следует обесфторивать.

Существующие методы обесфторивания воды можно разделить на две основные группы:

К первой группе относятся следующие методы ионного обмена на селективных ионитах, таких как активированная окись алюминия, гидроксилпатите, сильноосновных анионитах, а также магнезиальных сорбентах и активированных углях. Данные методы наиболее эффективны при применении подземных вод, не нуждающихся в других видах очистки.

Вторая группа включает в себя методы, базирующиеся на сорбции фтора свежевыделенными осадками гидроокиси магния, алюминия и фосфата кальция. Применение таких методов для поверхностных вод целесообразно лишь при необходимости обеспечения совместного обесфторивания и осветления воды. Возможно использования данных

методов для подземных вод в случае необходимости их одновременного умягчения с помощью реагентов вместе с обесфториванием.

По итогам многочисленных исследований наилучшие результаты по удалению фтора из подземных вод достигались при использовании окиси алюминия. Участвуя в процессе обесфторивания, активированная окись алюминия действует как анионит, который заряжен при регенерации сернокислым алюминием обменными ионами  $\text{SO}_4^{2-}$ .

В течении обесфторивания воды вследствие ионного обмена увеличивается содержание в фильтрате сульфатных ионов. Этот факт следует учитывать при проектировании схем обработки и расчете комплектов по улучшению показателей воды. Согласно [7, табл.2] «содержание сульфатов в питьевой воде не должно превышать 500 мг/л».

Среди подземных источников встречаются и те, содержание фторид-ионов которых менее 0,5 мг/л. В этом случае повышение содержания фтора достигается с помощью фторирования воды.

Принцип фторирования воды заключается во введении в воду фторсодержащих реагентов, «таких как кремнефтористый натрий  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ , кремнефтористая кислота  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ , фтористый натрий  $\text{NaF}$ , кремнефтористый аммоний  $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ , фтористый кальций  $\text{CaF}_2$ , фтористоводородная кислота  $\text{HF}$ , кремнефтористый калий  $\text{K}_2\text{SiF}_6$ , кремнефтористый алюминий  $\text{Al}_2(\text{SiF}_6)_3$ , фтористый алюминий  $\text{AlF}_3$  и ряд других» [16, с.368]. Выбор места его введения зависит от способа очистки воды и технико-экономических показателей.

В большинстве случаев на водоочистных комплексах метод фторирования является завершающей стадией очистки и предшествует хлорированию.

Авторами [28] было предложено использование КДМ в качестве активной добавки для фильтров, направленных на обезжелезивание. С помощью КДМ возможно корректировать рН показатель, а также значительно ускорить окисление растворенного марганца и железа. В

качестве составляющей КДМ коррозионно-неустойчивый сплав структуры алюминий-магний, представленный в виде гранул, покрытый пористой оболочкой из оксидов магния и меди. В результате реакции окисления и гидролиза ионов металла образовывается малорастворимый осадок. Этому явлению способствует сильный подщелачивающий эффект ( $\text{pH} > 9,5$ ) на поверхности и в приграничном слое гранул. Считалось, что свежеобразованный гидроксид магния при таких значениях pH способен вполне быстро сорбировать фторид-ион.

По итогам проведенных испытаний было определено, что КДМ высокоэффективно снижает содержание ионов фтора в подземной воде без использования реагентов. Процессы удаления фтора данного метода схожи с процессами взаимодействия свежеобразованных гидроксидов магния и алюминия с фторид-ионами в реагентных методах.

На основе практики применения КДМ в фильтрах – обезжелезивателях можно спрогнозировать продолжительность работы фильтров с КДМ загрузкой при осуществлении дефторирования. Наблюдения и исследования продолжались в течении двух лет. При условии, что для дефторирования необходимо меньшее количество КДМ, чем при удалении железа, можно заключить, что работоспособность фильтров на основе КДМ при удалении фтора составляет срок не менее 3 лет.

Ученые-исследователи, инженеры и технологи со всего мира решают проблемы удаления тех или иных веществ исходя их имеющейся базы. Так, индийские ученые предложили ряд методов для удаления фтор-ионов из питьевой воды, так как небольшое наличие фтора не является первостепенной задачей обработки воды, идущей на технологические нужды. В [29] подземные грунтовые воды предлагается дефторировать с помощью мембранных технологий, и использованием в качестве адсорбента оксид алюминия.

## 1.6 Выводы по главе 1

Согласно литературному обзору, произведенному в первой главе диссертации, существует многочисленное количество методов водоподготовки воды различной направленности. Вышеперечисленные методы определяются исходными показателями подземных вод, а также содержанием в них веществ, которые необходимо довести до нормируемых показателей. Изучено качество подземных вод, и их показатели над которыми будет необходимо провести работу по удалению/снижению.

Во многом для выбора соответствующей схемы водоподготовки инженеру необходимо не только руководствоваться исходными показателями воды, но также технико-экономическими показателями. Так как у каждого метода есть как преимущества, так и недостатки. Если у реагентных методов главным недостатком является наличие большое количество сточных регенерационных вод загрязняющих окружающую среду, то у безреагентных, например, затраты электроэнергии. Высокое содержание веществ, расходы воды, а также высокие денежные затраты могут сделать нерентабельной внутрислоистовую обработку воды.

Для повышения эффективности ВПУ и их рационального использования предпринимают установку различных схем, в том числе смешанного типа, используя наряду с реагентной обработкой без их использования.

Таким образом, изучив содержимое главы №1, была получена информативно-техническая база различных методов водоподготовки, принципы их работы и особенности проектирования, а также расчеты и затраты реагентов/ресурсов для принятия собственных проектных решений.



## Глава 2 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ КОТЕЛЬНОЙ МАЛОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПОС. ПОВОЛЖСКИЙ

### 2.1 Описание котельной и общая характеристика технологической схемы

Котельная БМК-34 (рис. 2.1) расположена в пос. Поволжском города Тольятти, введена в эксплуатацию в 2008 году и предназначена для снабжения жителей поселка горячей водой и тепловой энергией. Установленная тепловая мощность котельной составляет 30 Гкал/ч. В качестве основного и резервного топлива – газ. Тепловой график 150-70°C. Максимальный часовой расход топлива составляет 3,6 т у.т/ч. Протяженность тепловых сетей в двухтрубном исчислении составляет 27,1 км со средним числом абонентов на 1 км<sup>2</sup> – 110. Количество тепловой энергии, потребляемой районом города, населенностью 9722 человек приведено в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Потребление тепловой энергии

Отапливаемая площадь, м <sup>2</sup>	Годовое потребление тепловой энергии, Гкал		
	Отопление и вентиляция	Горячее водоснабжение	Всего
194241	77991,24	13487,06	91478,3
	Часовое потребление тепловой энергии, МВт (Гкал/ч)		
	23,28(20,02)	6,33(5,44)	29,61(25,46)



Рисунок 2.1 – Вид котельной пос. Поволжский

## Характеристика исходной воды

Водоснабжение котельной осуществляется артезианской водой из скважины №1, №2 и №3, расположенной рядом с поселком, в Ставропольском районе, рядом с ДПК «Василек». Скважины введены в эксплуатацию с 1982 года. Глубина скважины составляет порядка 60 м. Микробное загрязнение вод отсутствует, артезианская вода полностью отвечает требованиям [7].

– Жесткость карбонатная (общая) = 2,5 ~ 2,65 мг-экв/л

Вода мягкая, однако, требуется довести до показателя 0,6 мг-экв/л [9, табл. 1];

– Щелочность = 2,65 мг-экв/л;

– рН = 7,5;

– нефтепродукты – отсутствуют;

– Растворенный кислород ~ 10 мг/л

– Свободная углекислота (CO<sub>2</sub>) ~ 4,7 мг/л

Требуется довести до показателей по кислороду 30 мкг/л [9, табл. 1], свободная кислота должна отсутствовать;

– Прозрачность по штифту – 40 см;

– Железо – 80 мкг/л;

– Хлориды – 2 мг/л;

– Сульфаты – 2,2 мг/л.

Так как водозабор из скважин осуществляется на хозяйственно-питьевые нужды населенного пункта Поволжский, согласно [30] существует постановление, утверждающее зоны санитарной охраны (ЗСО) и их режимы на данном водозаборе [31]. Вид скважин со спутника представлен на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Вид скважин со спутника

### **Описание технологической схемы котельной**

Тепловая схема разработана на закрытую систему теплоснабжения поселка. Подготовка теплоносителя предусматривается в стальных водогрейных котлах типа КВ-ГМ-11,63-150П в количестве трех штук. Во внутреннем контуре циркуляция воды происходит за счет работы котловых насосов по одному на каждый котел, в контуре теплосети – тремя сетевыми насосами. Защита котлов от избыточного давления осуществляется предохранительными клапанами. Для снижения давления вода отводится в охладительный колодец. Сглаживание колебаний давления теплоносителя во внутреннем контуре обеспечивается двумя расширительными баками. На каждом котле установлена поворотная заслонка, которой следует поддерживать температуру на входе не ниже 70 °С.

Подогрев теплоносителя контура теплосети системы отопления происходит в пластинчатых теплообменниках в количестве трех штук, системы ГВС – двух. Циркуляция воды в системе обеспечивается сетевыми насосами. Предусмотрена также установка баков – аккумуляторов для запаса горячей воды.

В зависимости от температуры наружного воздуха подача теплоносителя в подающем трубопроводе производится путем количественного регулирования греющего теплоносителя в котловом контуре трехходовыми смесительными клапанами.

Регулирование температуры воды на выходе из теплообменников ГВС производится за счет изменения расхода греющего теплоносителя через теплообменник насосом с частотным приводом.

Восполнение утечек при водоразборе горячей воды производится из водопровода сырой воды. Поддержание давления в системе на обратном трубопроводе производится заслонкой поворотной с электроприводом.

Тепловая энергия, отпущенная на отопление и ГВС, учитывается теплосчетчиком. Также на сетевых трубопроводах произведена установка преобразователей расхода. Расход водопроводной воды осуществляется счетчиком холодной воды. Учет тепловой энергии и воды через каждый котел также осуществляется теплосчетчиком, на выходе из каждого котла установлен преобразователь расхода электромагнитный.

Подпитка контура котлов и теплосети осуществляется из водопровода сырой (исходной) воды. Для доведения исходной воды до требуемых, согласно [9, табл.1.2] предусмотрен блок химводоочистки для обработки воды. Подробная схема представлена на рис. 2.3.

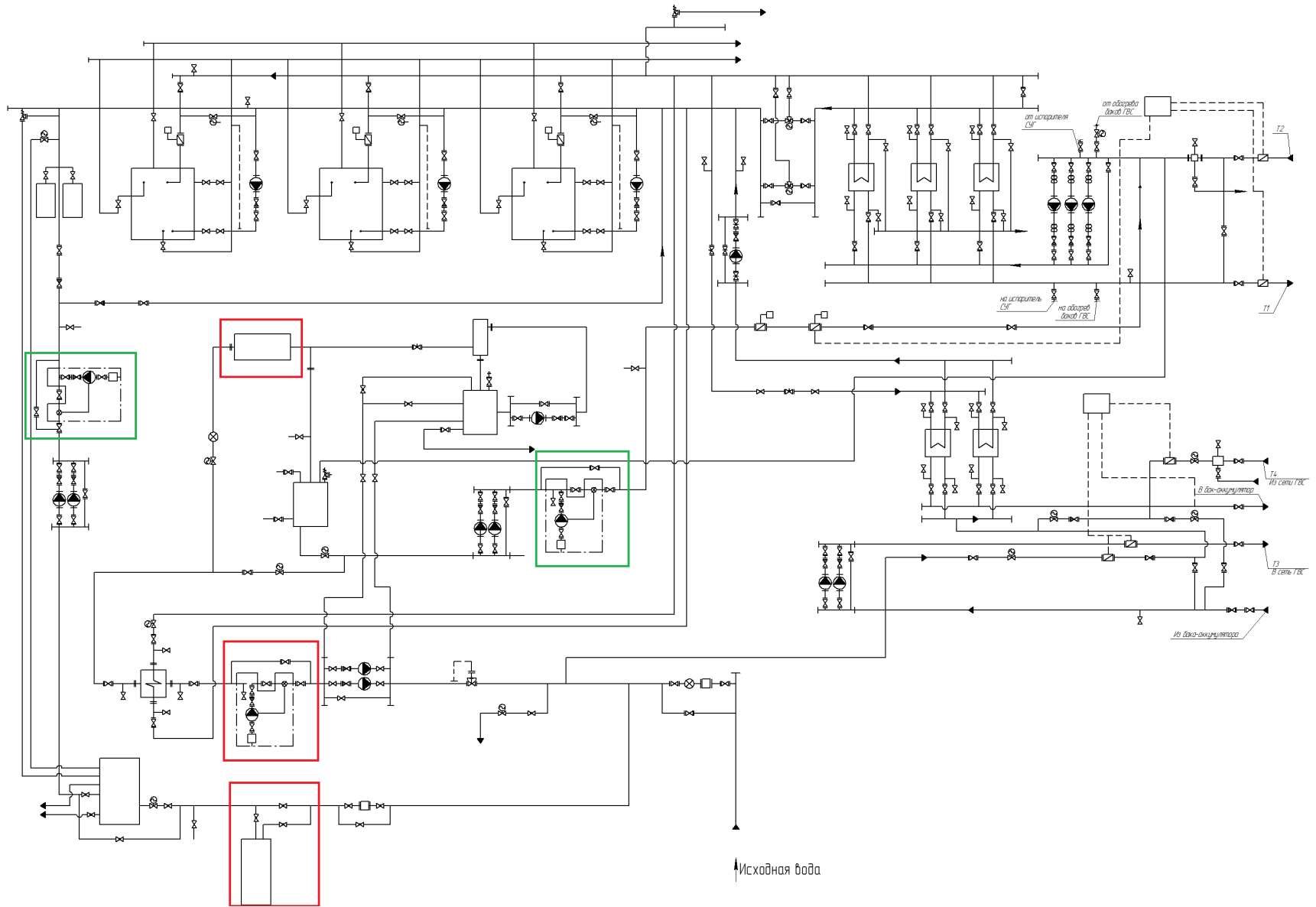


Рисунок 2.3 - Технологическая схема котельной

## 2.2 Химводоочистка контура котлов (внутренний контур)

Подпитка внутреннего контура осуществляется следующим образом: водопроводная вода самотеком через механический фильтр и установку умягчения подается в бак химочищенной воды, оттуда насосами на комплекс пропорционального дозирования во внутренний контур котельной.

Водоподготовка подпиточной воды для котлов осуществляется в II этапа, целью первого является умягчение, второго – удаление коррозионно-активных газов. Механический фильтр удаляет взвешенные частицы.

Умягчение сырой водопроводной воды, прошедшей механический фильтр производится в автоматической установке умягчения, где осуществляется одноступенчатое Na – катионирование. В качестве резерва используется установка умягчения серии SSF 1054-5600 периодического действия, состоящая из одного натрий катионитного фильтра, расположенного над ним блока управления и бака – солерастворителя для приготовления раствора, предназначенного на регенерацию фильтра. Регенерация ионообменной смолы, рабочей емкостью не менее 1,2 г-экв/л происходит раствором поваренной технической соли NaCl с заданной периодичностью. Регенерация осуществляется блоком автоматического управления процессом регенерации по сигналу встроенного счетчика, предназначенного для регистрации объема воды, прошедшей через установку, т.е. через определенное количество дней. Установки умягчения серии SSF «применяются для удаления из обрабатываемой воды ионов Ca и Mg, обуславливающих жесткость воды. Данный тип установок используется в хозяйственно-бытовых целях и на технологических линиях промышленных объектов, потребность которых в умягченной воде непостоянная или возможен периодический режим работы» [32]. При соблюдении всех условий эксплуатации способны обеспечить остаточную жесткость обработанной воды до 0,05-0,1 мг-экв/л, но не более 0,01 мг-экв/л. Особенность данного фильтра состоит в том, что после переключения фильтра из рабочего

состояния в режим регенерации показания счетчика возвращается в исходное положение заданного значения фильтроцикла, а по завершении процесса регенерации он переходит в сервисный режим. Элементы, входящие в установку представлены на рис. 2.4.

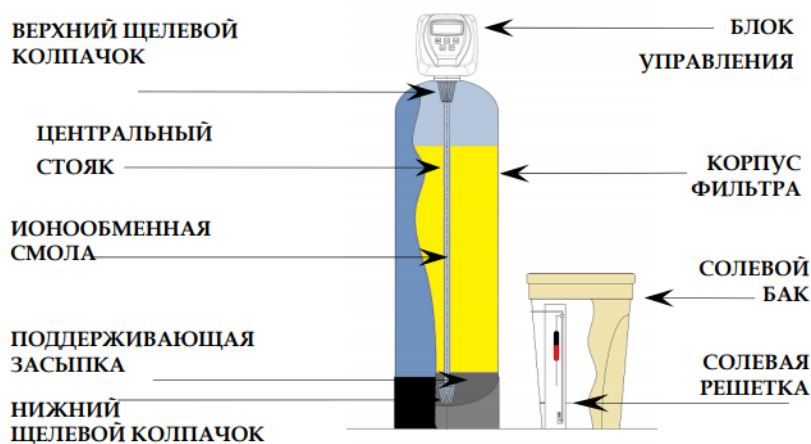
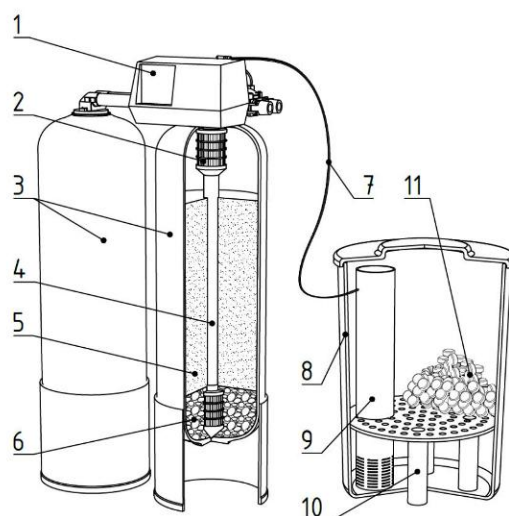


Рисунок 2.4 – Установка умягчения воды серии SSF

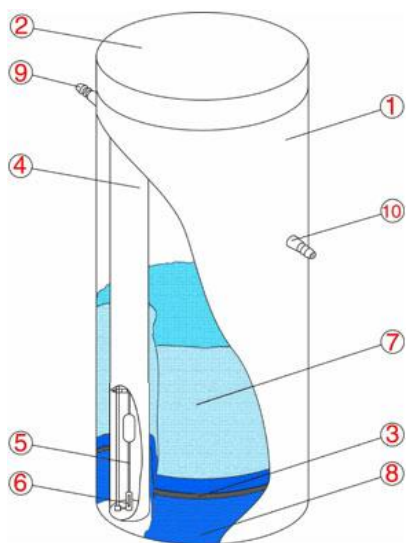
В качестве основного оборудования представлена установка непрерывного действия HydroTech серии STF 1248-9000, состоящая из двух натрий-катионитных фильтров с расположенным наверху одного из них блоком управления, и бака-солерастворителя. Блок управления осуществляет попеременную регенерацию каждого из двух натрий-катионитных фильтров. «Установки умягчения HYDROTECH STF применяются для удаления из обрабатываемой воды, ионов Ca и Mg. Данный тип установок используется в хозяйственно-бытовых целях и на технологических линиях промышленных объектов, потребность которых в умягченной воде постоянная, а производительность не превышает 10 м<sup>3</sup>/час» [33]. Режим непрерывной работы заключается в попеременной работе корпусов фильтров установки. После окончания фильтроцикла первого корпуса управляющий клапан автоматически переключает потоки обрабатываемой воды на второй корпус, в то время как в первом корпусе фильтра производится регенерация сильнокислотного катионита. Во всех процессах регенерации фильтров используется умягченная вода. То есть, один катионитный фильтр всегда находится в рабочем режиме, в то время как второй в процессе регенерации

или ожидания. После переключения фильтров показания счетчика возвращаются в исходное положение, соответствующее заданному значению фильтроцикла. Аналогично фильтрам серии SSF фильтры STF или иначе Twin могут обеспечить остаточную жесткость обработанной воды до 0,05-0,1 мг-экв/л, но не более 0,01 мг-экв/л при установке в качестве II ступени. Элементы, входящие в установку представлены на рис. 2.5. Подробно указано что входит в комплектацию бака-солерастворителя показано на рис. 2.6.



1 – автоматический управляющий клапан; 2-4 – дренажно-распределительная система; 3 – напорный корпус; 5 – фильтрующая среда; 6 – поддерживающий слой; 7-11 – бак-солерастворитель в комплекте

Рисунок 2.5 – Установка умягчения воды серии STF



1 – емкость (в основном пластиковая); 2 – крышка; 3 – сетка; 4 – шахта (пластиковая труба); 5 – поплавковый запирающий клапан ; 6 – шариковый отсечной клапан; 7 – слой регенеранта; 8 – слой воды; 9 – штуцер; 10 – переливной штуцер

Рисунок 2.6 – Устройство бака-солерастворителя

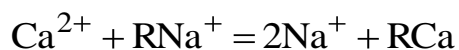


Следует отметить, что установки умягчения могут работать попеременно или одновременно (рис. 2.7, а). Установка серии SSF используется в качестве резерва (рис. 2.7, б).



Рисунок 2.7 – Установки умягчения воды типа Twin (а) и Single (б)

Метод Na – катионирования основан на принципе ионного обмена. В результате ионного обмена из воды удаляются катионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , обуславливающие карбонатную жесткость воды, а вода обогащается ионами  $\text{Na}^+$ , как показано в реакции:



В качестве фильтрующего материала используется сильноокислотная катионообменная смола PureLite C100. Как и любые другие смолы, PureLite различаются как по принципу действия, так и по своей структуре. Выбор смолы зависит от характера загрязнения, исходных показателей воды.

- Сильнокислотные катионообменные смолы используют с целью умягчения воды и ее обессоливания;
- Слабокислотные катионообменные смолы применяют для устранения временной жесткости и повышенной щелочности воды;
- Сильноосновные анионообменные смолы применяются в основном для обессоливания воды с очень высоким содержанием солей и кремния, что обуславливается высокой скоростью обмена сильноосновных анионитов. Данный способ по скорости превосходит метод очистки воды обратным

осмосом;

– Слабоосновные анионообменные смолы используются чаще всего для обессоливания органических соединений, в числе которых сахара, молочная сыворотка, глюкоза и др.

Также существует подвид смол PureLite, которые используют сразу несколько типов смол, сочетание которых обуславливается содержанием тех или иных нежелательных элементов, так же возможно применение для очистки воды от железа.

PureLite C100 представляет собой полистирол–дивинилбензолный сульфированный сополимер – катионит в виде сферических частиц, обладающий высокой обменной емкостью и полностью готовый к использованию, как в бытовых, так и промышленных системах водоподготовки. Катионит извлекает из воды ионы жесткости, такие как кальций и магний, заменяя их на ионы натрия. Данный тип смолы также способен удалять растворенные ионы железа и марганца по вышеприведенному механизму и задерживать взвешенные частицы благодаря фильтрующему эффекту слоя смолы [34, с. 4].

Сточные воды сбрасываются в канализацию. Пройдя обработку в ХВО, вода поступает в бак химочищенной воды, объемом 3 м<sup>3</sup>, откуда подается на комплекс пропорционального дозирования.

Комплекс пропорционального дозирования (обескислороживания) HydroTech DS серия 6E присутствует как во внешнем, так и во внутреннем контуре. Дозирующий комплекс предназначен для подачи в обрабатываемую воду химических реагентов, с целью предотвращения коррозии оборудования и трубопроводов, накипеобразования в водогрейных котлах в системах тепло-, водоснабжения, а так же в системах охлаждения; для связывания в воде растворенного кислорода и свободного хлора. Установка состоит из дозирующего насоса, импульсного водосчетчика и расходной емкости, также в конструкцию входит всасывающее устройство и датчик уровня реагента с держателем. Для коррекции уровня рН в комплекте с установкой

приобретается датчик уровня рН с держателем. Комплектация комплекса пропорционального дозирования представлена на рис. 2.8.

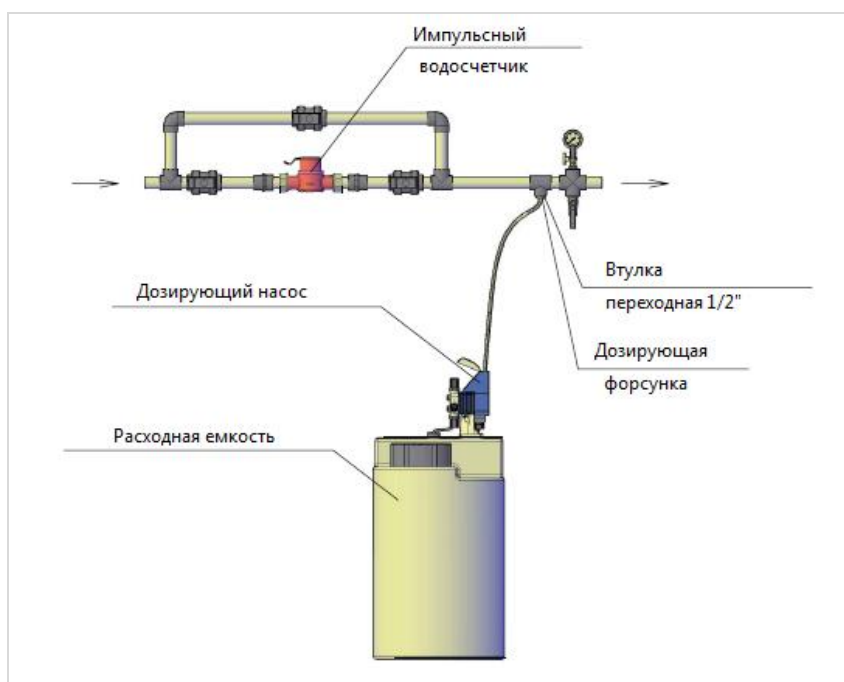
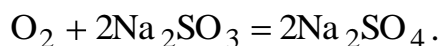


Рисунок 2.8 – Комплекс пропорционального дозирования

Реагент, применяемый в данной установке, Hydrochem 140 предназначен для связывания остаточного растворенного кислорода и предотвращения коррозии при эксплуатации теплового оборудования. Реагентом является сульфит натрия, который вступает в реакцию с кислородом:



Hydrochem (ГидроХим) 140 – светло-розовая жидкость на основе катализированного бисульфита натрия. Это экологически чистый кислотный ингибитор коррозии в паровых котлах и системах теплоснабжения закрытого типа, деоксидант [35]. Образует защитную магнетитную пленку на поверхности металлов, что наиболее эффективно при высоких температурах до 270°. Реагент Hydrochem 140 негорючий, взрыво- и пожаробезопасный, нетоксичный, а также позволяет контролировать концентрацию сульфитов в котловой воде.

Дозировка реагента происходит автоматически, с помощью дозатора и напрямую зависит от концентрации в исходной воде растворенного кислорода. При этом тратится 8 мг реагента на 1 мг кислорода.

В ходе анализа результатов исследования водно-химического режима (ВХР) установок химводоочистки внутреннего контура котельной пос. Поволжский было выявлено следующее:

– Качество исходной воды соответствует выбранной схеме водоподготовки и требованиям безопасной работы котлового оборудования, согласно [36, прил. 3];

Анализ исходной воды был выполнен в соответствии с требованиями, изложенными в [37]:

- Жесткость карбонатная (общая) = 2,5 ~ 2,65 мг-экв/л

- Щелочность = 2,65 мг-экв/л

- рН = 7,5

- нефтепродукты – отсутствуют

– По итогам проверки блока умягчения было определено, что оборудование функционирует эффективно, отклонений не выявлено, однако при попеременной работе фильтров жесткость умягченной воды составила  $J_0=0,03$  мг-экв/л, а при одновременной работе фильтров  $J_0=0,01$  мг-экв/л, что меньше допустимого показателя в 60 раз. Катионитные фильтры работали при нагрузке 0,3 т/ч со скоростью фильтрования 6 м/ч. В эксплуатационном режиме жесткость фильтрата составляла 0,005-0,01 мг-экв/л.

– Проверка узла коррекционной обработки подпиточной воды внутреннего контура показала удовлетворительную работу по удалению растворенного кислорода до 10 мг/л, при норме 30 мг/л [9, табл. 1].

Таким образом, следует уделить внимание излишнему умягчению воды блоком Na-катионитных фильтров, дабы снизить расход реагента и электроэнергии.

### 2.3 Водоподготовка контура теплосети (внешний контур)

Поддержание статического давления в тепловой сети осуществляется подпиточными насосами в количестве двух штук, включая резервный из бака деаэрированной воды. В ночное время, при минимальных утечках из сети, ввиду соображений экономии, вода, используемая для подпитки внешнего контура проходит комплекс обескислороживания (пропорционального дозирования), деаэратор при этом не работает. При утечках теплосети превышающих  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$  в работе и деаэратор и комплекс обескислороживания. При этом забор воды производится следующим образом: вода подается на комплекс пропорционального дозирования для антинакипной обработки перед теплообменником для нагрева с последующей подачей в деаэрационную установку, где из нее удаляются растворенные газы, в первую очередь кислород  $\text{O}_2$  и углекислый газ  $\text{CO}_2$ . Деаэрационная установка представляет собой вакуумный деаэратор и эжектор, бак и насос рабочей воды. Насос рабочей воды забирает её из бака в эжектор и обратно в бак. При этом в эжекторе создается разрежение, за счет которого происходит выход из воды растворенных в ней газов. Далее вода подается на подпитку контура теплосети. Применение методов ввода комплексонов в исходную воду значительно повышает её технические качества и делает её условно чистой, поэтому загрязненные стоки из котельной отсутствуют.

Установка постоянного дозирования реагентов HydroTech DS (антинакипная обработка) состоит из того же оборудования, что и комплекс обескислороживания. Схема обвязки установки дозирования представлена на рис. 2.9. Единственным различием является применяемый реагент, в качестве которого используется Hydrochem 110. Он предотвращает процессы накипеобразования и коррозии в трубопроводах и теплообменном оборудовании систем паро- и теплоснабжения, оборотных систем охлаждения.

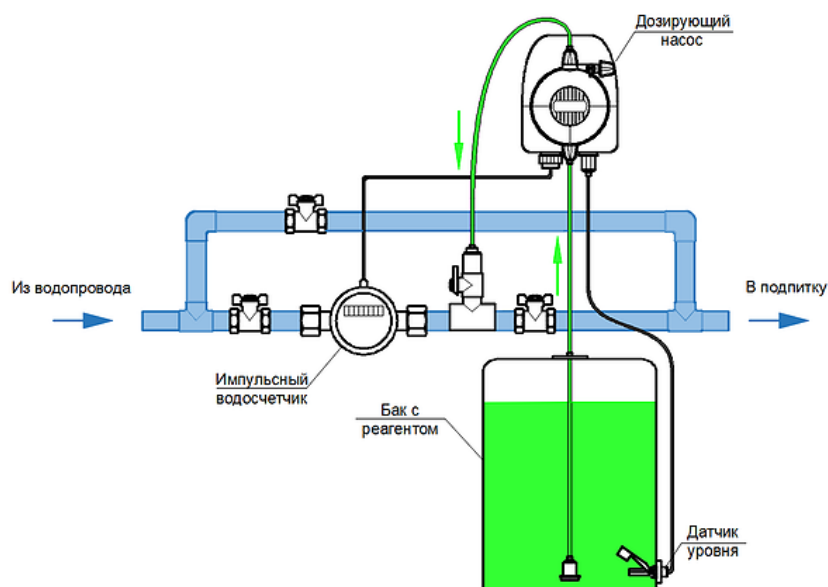


Рисунок 2.9 – Комплектация установки дозирования комплексонов

HydroChem (ГидроХим) 110 – это продукт на основе натриевой соли комплекса оксиэтилидендифосфоновой кислоты. Представляет собой светло-коричневую или коричневую жидкость, изготавливается на основе цинка и органических кислот. Является щелочным ингибитором отложения солей с антикоррозийными свойствами. Реагент HydroChem 110 нетоксичный, экологически чистый, наиболее эффективен при температурах до 115°C [35].

После антинакипной обработки (рис. 2.10), вода поступает в пластинчатый теплообменник, где нагревается котловой водой до 60°. Далее, в случае наличия утечек, превышающих 20 м<sup>3</sup>/ч, обработанная нагретая вода поступает в вакуумно-атмосферный кавитационно-струйный деаэратор «АВАКС» для дегазации.



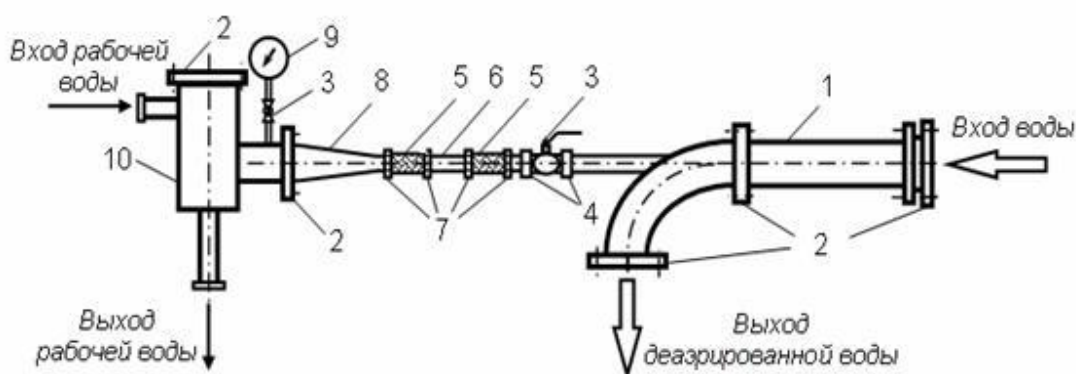
Рисунок 2.10 - Установка дозирования комплексонов

Главным заявленным преимуществом деаэратора «АВАКС» является его способность без остатка удалять коррозионно-активные газы  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  вместе с водяным паром. Благодаря полностью автоматизированной системе, использование этого оборудования не предполагает дополнительного числа сотрудников. Такая установка может значительно увеличить срок эксплуатации водопроводов и котельного оборудования [38].

Требования для стабильной работы деаэратора [41]:

- а) дегазация происходит в температурном диапазоне  $60-95^\circ$
- б) минимальное давление воды на входе  $3 \text{ кгс/см}^2$
- в) для деаэраторов производительностью более  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$  необходима установка охладителя выпара

При соблюдении требований и правильной эксплуатации качество дегазации деаэратора  $30-50 \text{ мкг/л}$ . Деаэратор «АВАКС» представлен на рис. 2.11.



1 – деаэратор; 2 – фланцы; 3 – кран; 4 – резьбовые соединения; 5 – резиновый шланг; 6 – стеклянная трубка; 7 – хомуты; 8 – диффузор; 9 – вакуумметр; 10 – водоструйный эжектор

Рисунок 2.11 – Деаэратор «АВАКС»

В комплектацию деаэрационной установки помимо деаэратора «Авакс» входит также эжектор ЭВ-3, бак рабочей воды объемом  $3,5 \text{ м}^3$  и насос рабочей воды. Насос рабочей воды забирает воду из бака рабочей воды и подает на эжектор, а затем обратно. В эжекторе при этом создается

разряжение, затягивающее из завихренной в деаэраторе воды, содержащиеся в ней газы.

Из деаэратора вода поступает в бак деаэрированной воды, объемом 3,5 м<sup>3</sup>, откуда при минимальных утечках и происходит забор на подпитку теплосети. Однако, работа деаэратора в случае утечек, превышающих 20 м<sup>3</sup>/ч, затруднена и, добиться качества дегазации, согласно требованиям [9, табл. 1] не представляется возможным. В этом случае предусмотрен подмес нагретой в пластинчатом теплообменнике воды с деаэрированной водой из бака. Этот поток насосами подается в установку пропорционального дозирования на горячую воду HYDROTECH DS серии 6E hw. Комплектация данной установки аналогична установке, представленной во внутреннем контуре котлов (рис. 2.10). Единственным отличием является наличие термостойкого импульсного водосчетчика. Используемый реагент Hydrochem 140. После комплекса пропорционального дозирования вода направляется на подпитку внешнего контура.

По итогам исследования водно-химического режима (ВХР) установок химводоочистки внутреннего контура котельной пос. Поволжский было выявлено следующее:

– Проверка работы деаэратора показала его неэффективность по удалению растворенного кислорода и свободной углекислоты, условия проверки:

-  $Q_{\text{подп}} = \text{до } 7,8 \text{ т/ч}$

-  $P_{\text{абс}} = 0,25 \text{ кГс/см}^2$

-  $T_{\text{деар.в.}} \sim 65^\circ$

-  $T_{\text{хов}} \sim 65^\circ$

При вышеперечисленных показателях исходной воды, поступающей в деаэрационную установку, содержание растворенного кислорода на выходе из установки составило 100 мкг/л, а свободная  $\text{CO}_2 = 4,5 \text{ мг/л}$ .

«Практика показывает, что неудовлетворительная работа любых вакуумных деаэраторов обусловлена тремя основными причинами:



несоблюдением технологически необходимого температурного режима деаэрации; плохой работой газоотводящих аппаратов; наличием неплотностей в вакуумной системе деаэрационной установки» [39, с. 41].

Деаэраторы «АВАКС» обладают целым рядом конструктивных недостатков, таких как Г-образная горизонтальная деаэрационная труба. При слабом напоре (например, при снижении давления в трубопроводе) центробежных сил не хватает для образования вихря, недеаэрированная вода просто стекает в бак и засасывается в патрубок отсоса пара, в результате чего аппарат захлебывается.

При проектировании предвключенного теплового оборудования следует учитывать, что для эффективной работы деаэраторов данного типа, вода должна нагреваться до 70-80°, однако теплообменная способность подогревателя не позволяет нагревать воду свыше 65°.

С проблемами эффективности эксплуатации столкнулись также авторы [Ошибка! Источник ссылки не найден.], которые решили проблему, попросту демонтировав деаэратор, поставив на его место отрезок стальной трубы подходящей конфигурации. В данном случае при исходных показателях растворенного кислорода 8-10 мг/кг на выходе получали 1,5-3,5 мг/кг в зависимости от температуры воды.

– При расчете дозировки реагента ГидроХим 140 для коррекционной обработки контура теплосети необходимо поддерживать содержание сульфита натрия в воде, т.е. разбавлять реагент в меньшее количество раз ввиду неработоспособности деаэратора.

– Неработоспособность при проверке показала и антинакипная обработка. При добавлении реагента ГидроХим 110 жесткость на выходе оставалась равной жесткости исходной воды 2,65 мг-экв/л.

Вывод: существующая схема подпитки внешнего контура (режимы обескислороживания и антинакипной обработки) не обеспечивают нормируемых показателей воды по содержанию растворенного кислорода и жесткости [9, табл. 1].

## 2.4 Выводы по главе 2

В ходе анализа технологической схемы водоподготовки посредством исследования водно-химического режима по подготовке подпиточной воды для внутреннего контура котлов и внешнего контура теплосети был выявлен ряд недостатков в эффективности, экономической целесообразности и технической эксплуатации оборудования.

При дальнейшем совершенствовании технологической схемы водоподготовки котельной пос. Поволжский следует отметить блок умягчения воды, предназначенной для подпитки контура котлов, ввиду излишнего умягчения. Таким образом, поднимается вопрос экономической целесообразности расхода реагента и технических характеристик используемого оборудования.

Водоподготовка подпитки для контура теплосети также имеет недостатки. Здесь следует обратить внимание на полную неработоспособность блока антинакипной обработки, невозможность обеспечения достаточной температуры воды для эффективной работы деаэратора из-за сниженной теплообменной способности подогревателя. Что в свою очередь влияет на затраты реагента на комплекс коррекционной обработки, установленный после деаэратора. Используемый деаэратор, основываясь на опыте инженеров предыдущих лет, рекомендуется исключить из схемы.

Решив данные проблемы в технологической схеме, можно добиться показателей воды, удовлетворяющей требованиям теплового оборудования, повысить его эффективность и долговечность, а также снизить материальные затраты предприятия.

## **Глава 3 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ НА КОТЕЛЬНОЙ ПОС. ПОВОЛЖСКИЙ**

### **3.1 Модернизация блока умягчения**

На основе выявленных недостатков в работе и функционировании водоподготовительного оборудования отопительной котельной пос. Поволжский будут предложены меры по их устранению. Разработка решений базируется на расчетах установленного оборудования и фактических значениях объемов подпитки. Предложенные варианты будут рекомендованы к внедрению непосредственно на производстве. Для внутреннего контура в качестве совершенствования предлагается произвести модернизацию блока умягчения, а для внешнего – осуществить оптимизацию антинакипной обработки. Решение данных проблем является важной задачей, ввиду потребности теплового оборудования в подпиточной воде, удовлетворяющей требованиям его эффективной и безопасной работы. Также поднимается немаловажный экономический вопрос и рациональное использование реагентов и водных ресурсов.

Не смотря на эффективную и бесперебойную работу блока умягчения, были выявлены излишние затраты реагента. При этом показатели жесткости подпиточной воды составили  $J_0=0,01$  мкг-экв/л, что меньше допустимого в 60 раз. Данная проблема не столь существенна, однако решив её, можно добиться экономии реагента, а, следовательно, его концентрация снизится в регенерационной и отмывочной воде, которая сбрасывается в канализацию. Стоит также отметить, что излишнее умягчение воды способно нанести вред тепловому оборудованию котельной. Дело в том, что мягкая вода при показателях жесткости менее 2 мг-экв/л имеет низкую буферную емкость и, в зависимости от уровня рН, а также других основополагающих факторов, оказывает коррозионное воздействие на поверхности оборудования и трубопроводов. Под буферной емкостью воды понимается общее содержание

в ней таких веществ как карбонаты, которые вступают в реакцию с кислотами и щелочами и предотвращают колебания концентрации ионов  $H^+$ . В случае с мягкой водой кислотнo-щелочная буферность практически отсутствует, так как её обеспечивает карбонатная (временная) жесткость, на удаление которой и направлено умягчение. Для того чтобы добиться оптимального баланса между жесткостью воды и её коррозионной активностью, а также по экономическим соображениям осуществляется модернизация блока умягчения во внутреннем контуре котельной.

Подготовку воды для тепловых сетей при использовании артезианского источника рекомендуется осуществлять путем одноступенчатого Na-катионирования или H-катионирования с «голодной» регенерацией фильтров [42, с. 25]. Используемый в технологической схеме способ Na-катионирования полностью удовлетворяет требованиям по исходному ионному составу артезианских вод и по качеству получаемой обработанной воды. Среди требуемых показателей для применения в качестве метода обработки Na-катионирования содержание взвешенных веществ 5-8 мг/л, цветность не более 30°. Данный способ используется, если не требуется удаление бикарбонатной щелочности, а также допускается повышение солесодержания за счет обмена ионов в подпиточной воде. Следует отметить, что щелочность умягчаемой воды не изменяется, однако pH фильтрата повышается, так как происходит замена  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  на более сильнощелочной катион  $Na^+$ . Для получения глубокоумягченной воды рекомендуется применять двухступенчатое Na-катионирование.

Основанием для применения одноступенчатой схемы катионирования служит то, что вода для подпитки котлового контура не требует глубокого умягчения, а жесткость исходной воды не превышает 7 мг-экв/л. Как правило, водоподготовка сводится лишь к снижению карбонатной жесткости. В этом случае отключение фильтра на регенерацию производится при общей жесткости фильтрата 0,1-0,2 мг-экв/л.

В свою очередь схема обработки в одну ступень имеет ряд недостатков, к которым относятся:

- относительно высокий расход соли на регенерацию фильтров;
- неполное использование емкости поглощения катионита;
- необходимость тщательного контроля за «проскоком» солей жесткости, количество которых после «проскока» нарастает в фильтре сравнительно быстро.

Первостепенно, производится проверка установленного на котельной оборудования на соответствие с нормами [12], для выявления конкретных аспектов, на основании которых будет предложена замена. Расчет катионитных фильтров блока умягчения производится в соответствии с методикой, изложенной в [42, с. 70].

1. Определяется общая площадь фильтрования из уравнения:

$$f_{\text{Na}} = \frac{Q_{\text{Na}}}{w_{\text{н}} \cdot a} \quad (3.1)$$

где  $Q_{\text{Na}}$  – производительность натрий – катионитных фильтров, м<sup>3</sup>/ч, для восполнения утечек, согласно [43, п 6.16] принимается равной 0,75% от производительности для закрытых систем;

$f_{\text{Na}}^{\phi}$  – площадь фильтрования натрий – катионитного стандартного фильтра, м<sup>2</sup>, принимается согласно техническим характеристикам или определяется по формуле:

$$f_{\text{Na}}^{\phi} = \frac{\pi \cdot d_{\phi}^2}{4} \quad (3.2)$$

$a$  – количество работающих фильтров, принимается не менее двух, без учета резервного;

$w_{\text{н}}$  – нормируемая скорость фильтрования, м/ч, принимаемая по [42, табл. 5-4] в зависимости от жесткости воды;

Нормируемая скорость фильтрования принимается равной 25 м/ч, так как жесткость исходной воды менее 5 мг-экв/л.

$$f_{\text{Na}} = \frac{370,5 \cdot 0,0075}{25 \cdot 2} = 0,056 \text{ м}^2$$

Используемая в технологической схеме установка непрерывного умягчения типа HydroTech STF (Twin) 1248-9000 состоит из двух фильтров, площадь фильтрования каждого составляет 0,068 м<sup>2</sup>, удовлетворяет требованиям. Напорный корпус каждого фильтра диаметром 305 мм (фактический – 295 мм), производительность 2,2 м<sup>3</sup>/ч, высота фильтрующей загрузки 800 мм.

Однако важным является тот факт, что при эксплуатации один из фильтров установки находится в работе, в то время как второй в режиме регенерации или ожидания, то есть обеспечивается попеременная работа фильтров.

Таким образом, фактическая максимальная скорость фильтрования при регенерации одного из фильтров составит:

$$w_{\text{ф}} = \frac{370,5 \cdot 0,0075}{0,068} = 40,9 \text{ м/ч}$$

Такая скорость недопустима для фильтра I ступени.

2. Число регенераций каждого Na – катионитного фильтра в сутки определяется по формуле:

$$n = \frac{24 \cdot J_0 \cdot Q_{\text{Na}}}{f_{\text{Na}} \cdot H_{\text{сл}} \cdot E_{\text{р}}^{\text{Na}} \cdot a} \quad (3.3)$$

где  $J_0$  – общая жесткость воды, поступающей на Na – катионитные фильтры, мг-экв/л;

$H_{\text{сл}}$  – высота слоя катионита, м, принимается по техническим данным;

$E_{\text{р}}^{\text{Na}}$  – рабочая обменная емкость катионита при Na – катионировании, г-экв/м<sup>3</sup>, определяющаяся по формуле:

$$n = \frac{24 \cdot 2,6 \cdot 2,78}{0,068 \cdot 0,8 \cdot 883 \cdot 1} = 3,61 \text{ регенерации}$$

$$E_{\text{р}}^{\text{Na}} = \alpha_{\text{Na}} \cdot \beta_{\text{Na}} \cdot E_{\text{пол}} - 0,5 \cdot q_{\text{уд}} \cdot J_0 \quad (3.4)$$

где  $\alpha_{\text{Na}}$  – коэффициент эффективности регенерации Na – катионита, учитывающий неполноту регенерации катионита в зависимости от удельного расхода соли на регенерацию, принимается по [табл.5-5];

$q_{\text{уд}}$  – удельный расход воды на отмывку катионита, м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> катионита, принимается в зависимости от вида загрузки фильтра;

0,5 – доля умягчения отмывочной воды;

$\beta_{\text{Na}}$  – коэффициент, учитывающий снижение обменной емкости катионита по  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  за счет частичного задержания катионов  $\text{Na}^+$ , содержащихся в исходной воде, принимается по [табл. 5-6];

$E_{\text{пол}}$  – полная обменная емкость катионита, г-экв/м<sup>3</sup>, принимается по техническим характеристикам используемого катионита;

Загрузка производится катионитом Purelite C100 с размером частиц 0,3-1,2 мм (современный аналог катионита КУ 2-8). Регенерация катионита производится технической поваренной солью NaCl. Удельный расход соли на регенерацию 120 г/г-экв.

$$E_p^{\text{Na}} = 0,67 \cdot 0,7 \cdot 1900 - 0,5 \cdot 6 \cdot 2,6 = 883 \text{ г-экв/м}^3$$

3. Расход 100% поваренной соли на одну регенерацию Na – катионитного фильтра определяется по формуле:

$$Q_c^{\text{Na}} = \frac{E_p^{\text{Na}} \cdot f_{\text{Na}} \cdot H_{\text{сл}} \cdot q_c}{1000} \quad (3.5)$$

где  $Q_c^{\text{Na}}$  – расход поваренной соли на одну регенерацию фильтра, кг;

$q_c$  – удельный расход соли на регенерацию обменной емкости катионита, г/г-экв; принимается по [рис. 5-2] в зависимости от жесткости обрабатываемой воды и требуемой жесткости фильтрата;

$$Q_c^{\text{Na}} = \frac{883 \cdot 0,068 \cdot 0,8 \cdot 120}{1000} = 5,76 \text{ кг}$$

4. Расход технической соли в сутки, кг/сут, определяются по формуле:

$$Q_{т.с} = \frac{Q_c^{Na} \cdot n \cdot a \cdot 100}{p} \quad (3.6)$$

где  $p$  – содержание NaCl в технической соли, %;

$$Q_{т.с} = \frac{5,76 \cdot 3,61 \cdot 2 \cdot 100}{93} = 44,72 \text{ кг/сут}$$

Расходы воды на регенерацию фильтра складываются из расходов воды на взрыхляющую промывку, приготовление регенерационного раствора, а также отмывку катионита от продуктов регенерации и избытка хлорида натрия.

5. Взрыхление слоя необходимое для удаления измельченных частиц катионита, определяется согласно формуле:

$$Q_{взв} = \frac{i \cdot f_{Na} \cdot 60 \cdot t_{взр}}{1000} \quad (3.7)$$

где  $i$  – интенсивность взрыхляющей промывки фильтров, л/(с·м<sup>2</sup>);

$t_{взр}$  – продолжительность взрыхляющей промывки, мин, принимается согласно [табл. 5-4];

$$Q_{взв} = \frac{4 \cdot 0,068 \cdot 60 \cdot 20}{1000} = 0,33 \text{ м}^3$$

6. Расход воды при приготовлении регенерационного раствора соли определяется из уравнения:

$$Q_{р.р} = \frac{Q_c^{Na} \cdot 100}{1000 \cdot b \cdot \rho_{р.р}} \quad (3.8)$$

где  $b$  – концентрация регенерационного раствора, %, по [табл. 5-4];

$\rho_{р.р}$  – плотность регенерационного раствора, т/м<sup>3</sup>, принимается по [табл. 15-6] раствора NaCl при 20°;

$$Q_{р.р} = \frac{5,76 \cdot 100}{1000 \cdot 7 \cdot 1,082} = 0,08 \text{ м}^3$$

7. Расход воды на отмывку катионита от продуктов регенерации определяется по формуле:



$$Q_{от} = q_{от} \cdot f_{Na} \cdot H_{ст} \quad (3.9)$$

где  $q_{от}$  – удельный расход воды на отмывку катионита, м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup>;

$$Q_{от} = 6 \cdot 0,068 \cdot 0,8 = 0,33 \text{ м}^3$$

8. Расход воды на одну регенерацию фильтра без использования промывочных вод на взрыхляющую промывку составляет:

$$Q''_{с.н} = Q_{р.п} + Q_{от} \quad (3.10)$$

$$Q''_{с.н} = 0,08 + 0,33 = 0,41 \text{ м}^3$$

То же с использованием отмывочных вод на взрыхляющую промывку, м<sup>3</sup>:

$$Q'_{с.н} = Q_{взр} + Q_{р.п} + Q_{от} \quad (3.11)$$

$$Q'_{с.н} = 0,33 + 0,08 + 0,33 = 0,74 \text{ м}^3$$

9. Среднечасовой расход воды на собственные нужды Na – катионитных фильтров, м<sup>3</sup>/ч, определяется по формуле:

$$Q_{с.н}^ч = \frac{Q_{с.н} \cdot a \cdot n}{24} \quad (3.12)$$

$$Q_{с.н}^ч = \frac{0,74 \cdot 2 \cdot 3,61}{24} = 0,22 \text{ м}^3/\text{ч}$$

10. Время между регенерациями фильтра определяется из уравнения:

$$T_{Na} = \frac{24}{n} - \frac{t_{пер}^{Na}}{60} \quad (3.13)$$

где  $T_{Na}$  – межрегенерационный период каждого Na – катионитного фильтра, ч;

$n$  – количество регенераций каждого катионитного фильтра в сутки;

$t_{пер}^{Na}$  – время регенерации фильтра, мин, определяющееся по формуле:

$$T_{Na} = \frac{24}{3,61} - \frac{86}{60} = 5,2 \approx 8 \text{ ч}$$

$$t_{пер}^{Na} = t_{взр} + t_{р.п} + t_{от} \quad (3.14)$$

где  $t_{р.п}$  – время пропуска регенерационного раствора через фильтр, мин,

определяется согласно формуле:

$$t_{p.p} = \frac{Q_{p.p} \cdot 60}{w_{p.p} \cdot f_{Na}} \quad (3.15)$$

где  $t_{p.p}$  – время пропуска регенерационного раствора через фильтр, мин, определяется согласно формуле:

$w_{p.p}$  – скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч, принимается по [табл. 5-4];

$$t_{p.p} = \frac{0,08 \cdot 60}{3 \cdot 0,068} = 24 \text{ мин}$$

$t_{от}$  – время отмывки от продуктов регенерации, мин, определяется по формуле:

$$t_{от} = \frac{Q_{от} \cdot 60}{w_{от} \cdot f_{Na}} \quad (3.16)$$

где  $w_{от}$  – скорость отмывки, принимается по [табл. 5-4] м/ч;

$$t_{от} = \frac{0,33 \cdot 60}{7 \cdot 0,068} = 42 \text{ мин}$$

Таким образом, время регенерации фильтра составляет:

$$t_{рег}^{Na} = 20 + 24 + 42 = 86 \text{ мин}$$

11. Количество одновременно регенерируемых фильтров определяется по уравнению:

$$n_{o.p} = \frac{n \cdot a \cdot t_{рег}^{Na}}{24} \quad (3.17)$$

$$n_{o.p} = \frac{4 \cdot 1 \cdot 1,43}{24} = 0,24 \approx 1$$

Проверку совпадения регенераций особенно важно производить при автоматизации для определения количества устанавливаемых приборов. Недопустимо совпадение регенерации одновременно работающих фильтров, в этом случае устанавливаются две группы приборов автоматизации. Что и наблюдается в нашем случае. Таким образом, приходим к выводу о

необходимости установки двух рабочих установок непрерывного действия без учета резервного.

Остаточная жесткость принимается равной 0,01 мг-экв/л, что соответствует требованиям [9] для котлового оборудования.

Из вышеизложенного расчета можно заключить, что эксплуатируемое на котельной оборудование может подлежать замене, в частности по причине совпадения регенераций обоих фильтров установки умягчения HydroTech STF (Twin) и невозможности их одновременной работы. Вследствие чего фактическая скорость фильтрования значительно превышает допустимые пределы для одноступенчатой схемы катионирования. Следовательно, необходимо добиться рационального умягчения исходной воды путем установки другой модели фильтра. Необходимо также отметить, что используемый в качестве резервного фильтр SSF 1054-5600 периодического действия, который в расчетах не учитывался следует заменить на модель того же типоразмера и производительности при замене основного, так как его прямое назначение – вступить в работу при поломке основного оборудования водоподготовки.

Итак, предлагается несколько вариантов компоновки оборудования блока умягчения:

– **Вариант №1 (Duplex<sub>1</sub>+Twin<sub>1</sub>)**

В качестве основного оборудования предлагается применить установку типа Duplex в количестве 1 штуки. У предлагаемой установки Duplex помимо двух баков-фильтров с ионообменной смолой, двух дренажно-распределительных систем и двух блоков управления имеются также два солевых бака. Главным преимуществом установки является возможность работы в двух режимах: twin (#7) и alternating (#5). Особенность режима #5 заключается в одновременной работе обоих фильтров, а при отключении одного на регенерацию, второй переходит в форсированный режим. Данный тип установок используется при большой разнице минимального и максимального расходов воды, подаваемых на установку умягчения

(например: заполнение теплосети и ее последующая подпитка). В качестве резервного фильтра предлагается установка, работающая по принципу Twin. Работает такая установка только в нормальном режиме, при котором в то время как один фильтр находится в работе, второй в режиме регенерации или ожидания.

– **Вариант №2 (Twin<sub>2</sub>+Single<sub>1</sub>)**

Основным оборудованием служит установка Twin в количестве 2 штук, с учетом регенерации фильтров. То есть, два бака-фильтра в работе, в то время как остальные два бака в режиме регенерации или ожидания. В качестве резерва принимается установка периодического действия типа Single. Данный тип установки используется на объектах, потребность в умягченной воде которых непостоянна.

– **Вариант №3 (Twin<sub>2</sub>+Twin<sub>1</sub>)**

Аналогично варианту №2 необходима комплектация в количестве не менее двух штук установки типа Twin, но резервом в данном случае будет установка этого же принципа работы.

– **Вариант №4 (Duplex<sub>1</sub>+Single<sub>1</sub>)**

Аналогично варианту №1 в качестве основного принимается установку типа Duplex в количестве 1 штуки. Однако в целях экономии в качестве резервного оборудования устанавливается фильтр Single.

Перечисленные типы установок умягчения Single, Twin и Duplex представлены различными торговыми марками заводов-изготовителей, таких как эксплуатируемой на исследуемом объекте HYDROTECH, европейского качества. В качестве альтернативы предлагаются к рассмотрению такие марки как Pentair (США), Zauber Kraft (Россия, собственная торговая марка компании Экодар), отечественные аналоги Аквасов (аквафлоу) и Акваюнит (Россия). Установки предполагается заполнять катионитом Purolite C100/C100E (аналог Lewatit S).

Все вышеперечисленные установки умягчения имеют высокую коррозионную стойкость, полностью автоматизированы и достаточно просты

в эксплуатации, то есть являются идеальным решением для водоподготовки на паровых и водогрейных котельных. Имеются лишь незначительные различия в технических характеристиках представленного оборудования. Принятие решения в сторону той или иной установки можно осуществлять путем сравнения экономических затрат. В табл. 3.1 приведены средние максимальные цены по Московской или Самарской области от различных производителей на возможные типы установок. Перевод в рубли осуществлялся по курсу 1 \$ = 65 руб. Для установок Pentair цена представлена с учетом компоновки блоком управления RunXin, а для установок Zuber Kraft цена представлена на корпуса, изготовленные из композитных полимерных материалов пищевого класса. В конкретных случаях цены могут отличаться.

Таблица 3.1 – Экономическое сравнение установок умягчение

Марка/стоимость Оборудование	HydroTech	Pentair	Zuber Kraft	Аквасов (АКВАФЛОУ)
Single	SSF 1248-5600SET <b>731 \$, с уч. НДС = 47 515 руб. с уч. НДС</b>	LM-2FM <b>715 \$, с уч. НДС = 46 475 руб. с уч. НДС</b>	GST-1665 CS* <b>70 000 руб. с уч. НДС</b>	SF 55-56 <b>1 170 \$, с уч. НДС = 76 050 руб. с уч. НДС</b>
Twin	STF 1248-9000 <b>1 786 \$, с уч. НДС = 116 090 руб. с уч. НДС</b>	LM-2FM (TW) <b>1 560 \$, с уч. НДС = 101 400 руб. с уч. НДС</b>	GSA-1252 CS <b>138 500 руб. с уч. НДС</b>	SF 55/2-91,90 <b>2 040 \$, с уч. НДС = 132 600 руб. с уч. НДС</b>
Duplex	SDF 1465-2750NT #5 <b>5 214 \$, с уч. НДС = 338 910 руб. с уч. НДС</b>	<u>LM-3FM(DX)</u> <b>3 800 \$, с уч. НДС=247 000 руб. с уч. НДС</b>	GSD-1054CS <b>283 000 руб. с уч. НДС</b>	SF 125/2-28NXT#5 <b>7 870 \$, с уч. НДС = 511 550 руб. с уч. НДС</b>

Для расчета принимается вариант компоновки № 2, состоящий из двух фильтров типа Twin, принимаемых в качестве основного оборудования и установки Single (иначе Simplex). По причине большой производительности, габаритов и стоимости установки типа Duplex потенциально могут быть использованы, однако при четком обосновании. В нашем случае производительность фильтров не превышает 3 м<sup>3</sup>/ч, поэтому принимать к установке крупногабаритные Duplex нецелесообразно, несмотря на большую площадь фильтрования.

Итак, к установке принимается установка непрерывного умягчения Pentair LM-2FM (TW) в количестве 2-х штук, состоящая из двух фильтров, фильтрования каждого составляет 0,068 м<sup>2</sup>, при диаметре 305 (фактический – 295 мм) и высоте 1220 мм. Производительность 2,2 м<sup>3</sup>/ч, высота фильтрующей загрузки принимается 800 мм.

Из формулы 3.1 фактическая максимальная скорость фильтрования при регенерации одного из фильтров составит:

$$w_{\phi} = \frac{370,5 \cdot 0,0075}{0,068 \cdot 2} = 20,4 \text{ м/ч,}$$

что не превышает допустимых значений для одноступенчатого катионирования [42].

Загрузка производится тем же катионитом Purelite C100 с размером частиц 0,3-1,2 мм, что используется в котельной.

Число регенераций каждого Na – катионитного фильтра в сутки, по формуле (3.3) составит:

$$n = \frac{24 \cdot 2,6 \cdot 2,78}{0,068 \cdot 0,8 \cdot 883 \cdot 2} = 1,81 \approx 2 \text{ регенерации.}$$

Расход 100% поваренной соли на одну регенерацию Na – катионитного фильтра аналогичен подлежащему замене HydroTech STF 1248-9000:

$$Q_c^{\text{Na}} = \frac{883 \cdot 0,068 \cdot 0,8 \cdot 120}{1000} = 5,76 \text{ кг.}$$

Однако расход технической соли изменится (по формуле 3.6):

$$Q_{т.с} = \frac{5,76 \cdot 1,81 \cdot 4 \cdot 100}{93} = 44,84 \text{ кг/сут.}$$

Расход технической соли увеличился незначительно. Экономии реагента NaCl можно добиться путем снижения обменной емкости катионита, за счет уменьшения высоты слоя фильтрующей загрузки, или же применив другой катионит, например Lewatit S.

Приняв все остальные характеристики аналогичными, установленной в действующей схеме HydroTech STF 1248-9000 получим, число одновременно регенерируемых фильтров  $\approx 1$  (формула 3.17).

Таким образом, при замене оборудования значительных изменений в затратах воды на собственные нужды и экономии реагента мы не получим, однако мы решим более важный вопрос относительно максимальной скорости фильтрования. Поставив два фильтра работающих попеременно, снизится скорость фильтрования, уменьшив нагрузку на каждый из фильтров, и будут соблюдаться условия [42]. Имея два рабочих фильтра (без учета резерва), при выходе из строя одного из них, будут приняты меры по устранению неполадок, а требуемая подпитка котлового оборудования при этом не прекратится.

### **3.2 Оптимизация антинакипной обработки**

Используемый в блоке антинакипной обработки, представленной установкой постоянного дозирования HydroTech DS, реагент Hydrochem 110 показал неудовлетворительную работу по удалению солей жесткости. В этом случае для решения проблемы рассматриваются два пути: замена используемого реагента в установке дозирования на другой или демонтаж установки, переход с реагентного метода на метод ионного обмена.

#### **1) Реагентный метод**

В качестве первого предлагается изменить применяемый реагент, который будет использоваться в установке. В табл.3.2 представлены реагенты – антинакипины, которые возможно использовать в качестве

альтернативы используемому реагенту Hydrochem 110. В качестве испытуемого образца был принят Эктоскейл-450, ввиду отсутствия недостатков.

Комплексонат «ЭКТОСКЕЙЛ–450» экологически безопасен. При попадании в водоем комплексонат, взаимодействуя с донными минеральными отложениями, разлагается – переходят в нерастворимую безвредную соль кальция и не накапливается в почвах. Состав содержащихся в комплексонате веществ – цинка (Zn), фосфатов (PO<sub>4</sub>), при попадании в водоем не вызывают возрастания концентрации вредных веществ, возрастание минимально. Отличительно то, что в аэрированной воде (воде с содержанием кислорода, превышающим допустимые для нормальной эксплуатации систем теплоснабжения значения) комплексонат является ингибитором смешанного действия. Механизм защитного действия ингибитора объясняется его адсорбцией на поверхностях металла и образованием защитного слоя труднорастворимых смешанных комплексных соединений цинка и железа, а также Zn(OH)<sub>2</sub>, связыванием кислорода цинком комплексоната, присутствующим в растворе. В нашем случае, когда наблюдается неработоспособность деаэратора, выбор данного ингибитора является оптимальным вариантом, при этом от применения в технологической схеме котельной деаэратора можно вовсе отказаться.

## 2) Метод ионного обмена

Поскольку задачей антинакипной обработки является умягчение исходной воды, в качестве альтернативы методу обработки комплексонами можно использовать метод ионного обмена, то есть заменить установку дозирования блоком Na-катионитных фильтров, производительностью не менее 10 м<sup>3</sup>/ч с учетом утечек из теплосети (в летний период – 2 м<sup>3</sup>/ч, в зимний период – 5 м<sup>3</sup>/ч).



Таблица 3.2 – Характеристики реагентов-антинакипинов

№	Наименование реагента	Описание	Преимущества	Недостатки
1	2	3	4	5
1	HydroChem 110	Ингибитор отложения минеральных солей с антикоррозионным эффектом (на основе NaCl)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Нетоксичный, экологически чистый продукт</li> <li>- Снижает интенсивность коррозии оборудования</li> <li>- Позволяет отказаться от использования многоступенчатых схем умягчения воды</li> </ul>	Значительных недостатков не имеет
2	Эктоскейл-450	Комплексопат НТФ-цинк. Используется для антикоррозионной и противонакипной обработки воды (водный раствор натриевой соли цинкового комплекса оксиэтилидендифосфоновой кислоты)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Абсолютно безопасен</li> <li>- Снижает коррозионную активность воды в среднем в 8-9 раз</li> <li>- Не смягчает воду, а стабилизирует ее (не дает проходить процессам накипеобразования и коррозии)</li> <li>- В закрытых системах теплоснабжения концентрация комплексопата не нормируется [44]</li> </ul>	Значительных недостатков не имеет
3	ИОМС-1	Ингибитор солеотложений в трубопроводах и теплообменном оборудовании (водный раствор натриевых солей аминотилеидендифосфоновых кислот)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Предотвращает образование отложений труднорастворимых солей на поверхностях теплообменного оборудования</li> </ul>	Токсикологический класс опасности вещества - IV.
4	HydroChem 121/125	Ингибитор коррозии и отложений на основе фосфатов, диспергентов, ингибиторов коррозии и щелочи	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Разрыхляет и отмывает имеющуюся накипь</li> <li>- Связывает остаточный кислород</li> </ul>	Рекомендуемое место ввода реагента – в обратную воду системы.

1	2	3	4	5
5	ОПТИОН-313	(ОЭДФ – цинковый комплекс) цинковый комплекс динатриевой соли оксиэтилидендифосфоновой кислоты	- Позволяет пропустить стадии умягчения и обескислороживания воды - Благодаря взаимодействию реагента с ионами кальция и магния, происходит разрушение кристаллов имеющих отложений, вследствие чего система постепенно очищается от накипи - Препятствует образованию коррозии	Аналогичен Эктоскейл-450, значительных недостатков не имеет
6	АКВА-ОЭДФ-ZN	Ингибитора коррозии и солеотложений, представляет водный раствор оксиэтилидендифосфонато(4)-цинк динатриевой соли и некоторого количества специального сополимера – дисперсанта и кондиционера осадка (поликарбоксилата)	- Негорюч, пожаро- и взрывобезопасен, мало токсичен для человека - Широко применим в промышленности: текстильных, химических, теплоэнергетических и в сельском хозяйстве	-Эффективен при небольшом содержании Са в исходной воде для противонакипной обработки
7	АКВА-НТФ-ZN	Ингибитора коррозии и солеотложений, представляет водный раствор цинкового комплексоната динатриевой соли нитрилотриметилфосфоновой кислоты и некоторого количества специального сополимера – дисперсанта и кондиционера осадка (поликарбоксилата)	- При продолжительном применении происходит разрушение застарелой накипи железно - оксидного и карбонатно-кальциевого характера и постепенное ее удаление - Экологически безопасен	- Нежелательно применение в схемах с непосредственным водозабором на ГВС

При бесспорных плюсах применения стабилизационной обработки воды комплексоном Эктоскейл-450, следует также обратить внимание на классические методы умягчения воды, применяемые повсеместно.

Расчет одноступенчатого Na-катионирования для внешнего контура при значениях утечек из тепловой сети с учетом собственных нужд – 10 м<sup>3</sup>/ч. По формуле 3.1 площадь фильтрования составит:

$$f_{\text{Na}} = \frac{10}{25 \cdot 2} = 0,2 \text{ м}^2$$

К установке рекомендуется принять автоматическую установку непрерывного действия HYDROTECH модель STrF 2160-2850NT#5 в комплектации с тремя корпусами фильтров, диаметром 533 мм каждый, тремя солевыми баками, тремя дренажно-распределительными системами и тремя управляющими клапанами для осуществления одновременной работы фильтров. Принцип работы: два бака-фильтра всегда в работе, один – в режиме регенерации или ожидания, таким образом, номинальная производительность установки составляет 12 м<sup>3</sup>/ч. Отличие моделей заключается в прилагаемых клапанах Fleck2850 и Fleck2900, с различным перепадом давления.

Фактическая площадь фильтрования одного бака-фильтра составляет 0,21 м<sup>2</sup>, при этом максимальная фактическая скорость при регенерации одного из фильтров не превышает нормируемых значений и составит:

$$w_{\phi} = \frac{10}{0,21 \cdot 2} = 23,8 \text{ м/ч.}$$

В качестве резерва предлагается установить установку периодического действия HYDROTECH SSF 2160-7700 SET.

Так как оба метода умягчения могут использоваться на исследуемой котельной, выполняется сравнение показателей стоимости предложенных схем. Установку постоянного дозирования HydroTech DS рекомендуется заменить установкой дозирования комплексонов КОМПЛЕКСОН НТ.

1) При использовании установки дозирования КОМПЛЕКСОН НТ и реагента Эктоскейл-450 стоимость блока составит: 710 USD с учетом НДС, т.е. 46 150 руб. с НДС + 255 за кг реагента с НДС. Так реагент продается фасовкой по 20-25 кг, получаем примерно 52 525 руб.

2) В случае применения блока катионитных фильтров затраты на оборудование (основное - HYDROTECH STrF 2160-2850NT#5, резерв - HYDROTECH SSF 2160-7700 SET) составят 12 459 USD с учетом НДС + 1770 USD с учетом НДС, т.е. 809 835 руб. + 115 050 руб. = 924 885 руб. с НДС. без учета стоимости засыпного материала.

Очень весомым аргументом в пользу применения метода ввода комплексонов в обрабатываемую воду является то, что «при длительном использовании обработки воды комплексонатами (свыше одного отопительного сезона) происходит изменение структуры ранее образовавшейся накипи как железо-оксидного, так и карбонатно-кальциевого характера [45]. То есть, реагент-комплексон не только препятствует образованию накипи и устраняет коррозионные свойства обрабатываемой воды, но еще и способствует снижению существующих образований на поверхностях оборудования.

Следует отметить, что применение коррекционной обработки воды необходимо в случае некачественной деаэрации или её отсутствии, что наблюдается в нашем случае.

Таким образом, приходим к выводу, что метод применения обработки исходной воды комплексоном Эктоскейл-450 перспективнее и экономически целесообразно.

От деаэратора в схеме внешнего контура котельной пришлось отказаться, замена на другой тип деаэратора, например на вакуумный струйно-барботажный деаэратор вертикального типа с водоструйным эжектором в силу крупных габаритов не представляется возможной. Данное оборудование может устанавливаться только вне котельной, на открытой площадке.

Поэтому для последующего после антинакипной обработки удаления кислорода комплекс обескислороживания ложится большая нагрузка. В этом случае количество сульфита натрия определяется по формуле:

$$C_{\text{сульф.}} = 8 \cdot C_{\text{кисл.}} + 2 \quad (3.18)$$

где  $C_{\text{кисл.}}$  – содержание растворенного кислорода в исходной воде, мг/л.

Получаем  $C_{\text{сульф.}} = 8 \cdot 4,7 + 2 = 39,6$  мг/л, т.е. необходимо поддерживать содержание сульфита натрия в воде не менее 39,6 мг/л на 4,7 мг/л растворенного в воде кислорода.

Разбавлять реагент следует не в 10 раз, а в 5: для бака, объемом 300 л необходимо 60 л реагента и 240 л умягченной воды.

$$C_{\text{сульф.}} = (C_{\text{т.р.}} \cdot V_{\text{т.р.}}) \div V_{\text{ем}} \quad (3.19)$$

где  $C_{\text{т.р.}}$  – концентрация сульфитов в товарном реагенте, г/л;

$V_{\text{т.р.}}$  – объем раствора товарного реагента, л;

$V_{\text{ем}}$  – объем емкости, л.

По формуле 3.19 получаем концентрацию сульфитов в разбавленном растворе:

$C_{\text{сульф.}} = (468,8 \cdot 60) \div 300 = 93,76$  г/л, т.е. на 1 л воды приходится дозировка разбавленного раствора, содержащего 93,76 г сульфитов.

### **3.3 Технико-экономическое сравнение действующей и предложенной технологических схем**

Целью технико-экономического сравнения схем является выявление экономии по итогам совершенствования. В табл. 3.3 представлено оборудование, его стоимость и затраты на используемые реагенты.

Следует отметить, что затраты технической соли на регенерацию приведены с учетом расходов в день на год. Расчет расхода катионита не производился, поэтому цена представлена за один пакет, аналогично расход реагента в канистрах. Цены представлены согласно официальному каталогу, однако с учетом курса перевода, доставки и различных областей закупки могут различаться.

Таблица 3.3 – Технико-экономическое сравнение действующей и предложенной технологических схем

№	Оборудование водоподготовки контура котлов	Оборудование водоподготовки контура теплосети	Преимущества и недостатки	Суммарная стоимость, руб. с учетом НДС включая реагенты*
<b><i>Действующая технологическая схема</i></b>				
1	Блок умягчения: <b>основное</b> HydroTech STF (Twin) 1248-9000	Установка постоянного дозирования HydroTech DS 6E1 (Антинакипная обработка) Применяемый реагент: Hydrochem 110	- Превышающая нормы скорость фильтрации при максимальных утечках - Не предусмотрена установка двух рабочих фильтров без учета резервного - Неэффективная работа антинакипной обработки по снижению солей жесткости	(1 786 USD + 766 USD + 659 USD)· 65 = 208 715 руб. Включая катионит Purelite C100 (фасовка 25 л/20 кг) = 150 руб./л· 25 = 3750 руб. Техническая соль 16 руб./кг Итого: 208 715 руб. + 3750 + (16·44,72·365)+ 4 720 руб. за канистру (22 кг) = 478 350 руб.
	<b>резерв</b> HydroTech SSF 1054-5600 SEM			
2	Комплекс пропорционального дозирования (обескислороживания) HYDROTECH DS 6E25N1 Применяемый реагент: Hydrochem 140	2.1 Деаэрактор «АВАКС» + эжектор ЭВ-3	Неработоспособность деаэрактора по удалению растворенного кислорода, вследствие чего большие нагрузки на последующий комплекс	((824 USD + канистра (22 кг) реагента 2 832 руб.)+ деаэрактор с эжектором 364 388 руб.+ (1 374 USD + канистра (22 кг) реагента 2 832 руб.)) = 512 922 руб.
		2.2 Комплекс пропорционального дозирования на горячую воду (обескислороживания) HYDROTECH DS 6E65hw10 N2 Применяемый реагент: Hydrochem 140		
<b>Итого стоимость водоподготовки по схеме:</b>				<b>991 272 руб.</b>

<b>Предложенная технологическая схема</b>				
1	Блок умягчения:	Установка дозирования комплексонов КОМПЛЕКСОН НТ (Антинакипная обработка) Применяемый реагент: Эктоскейл-450	- Фактическая скорость фильтрования не превышает нормируемых показателей - При установке большего числа фильтров расход технической соли практически не изменился - Решен вопрос обязательной установки двух рабочих фильтров, резервный подобран того же типоразмера	(1 560 USD + 715 USD + 710 USD)·65= 194 025 руб. Включая катионит Purelite C100 (фасовка 25 л/20 кг) = 150 руб./л· 25 = 3750 руб. Техническая соль 16 руб./кг Итого: 194 025 руб. + 3750 + (16·44,84·365) + 6 375 руб. за реагент (25 кг) = 466 016 руб.
	<b>основное</b> Pentair LM-2FM (TW)			
	<b>резерв</b> LM-2FM			
2	Комплекс пропорционального дозирования (обескислороживания) HYDROTECH DS серия 6E25N1 Применяемый реагент: Hydrochem 140	Комплекс пропорционального дозирования на горячую воду (обескислороживания) HYDROTECH DS 6E65hw10N2 Применяемый реагент: Hydrochem 140	- Демонтаж деаэратора, с установкой на его место отрезка стальной трубы подходящего диаметра и конфигурации - Произведен перерасчет используемого реагента Hydrochem 140, теперь удаление растворенных газов полностью осуществляется комплексом пропорционального дозирования на горячую воду	((824 USD + канистра (22 кг) реагента 2 832 руб.)+ (1 374 USD + канистра (22 кг) реагента 2 832 руб.)) = 148 534 руб.
<b>Итого стоимость водоподготовки по схеме:</b>				<b>614 550 руб.</b>

\* Расчет производился при принятом курсе 1 USD = 65 рублей

Вывод: предложенная для котельной пос. Поволжский схема примерно в 1,5 раза дешевле действующей схемы, и может служить техническим решением для объекта с аналогичными нагрузками и показателями исходной воды другого населенного пункта.

### 3.4 Выводы по главе 3

По итогам главы 3 был произведен расчет установленных Натрионитных фильтров, где было выявлено техническое несоответствие нормам. В качестве решения данной проблемы предложены варианты компоновки оборудования с учетом требований.

К установке в качестве блока умягчения рекомендуется схема №2 (2 рабочих фильтра и один резервный того же типоразмера), поскольку решается проблема совпадения регенераций фильтров, а также исходя из экономических соображений.

Также для повышения эффективности работы антинакипной обработки был произведен анализ реагентов, в ходе которого выбран Эктоскейл-450, который показал стабильность работы. В качестве альтернативы был произведен расчет блока катионитных фильтров. По итогам сравнения затрат экономически и технологически выгодным признан реагентный метод.

Ввиду неработоспособности деаэратора и смешанных свойств принятого ингибитора антинакипной обработки от применения деаэратора в схеме решено отказаться. Установка другого типа деаэратора, например вакуумного струйно-барботажного деаэратора вертикального типа с водоструйным эжектором в силу крупных габаритов не представляется возможной. Данное оборудование может устанавливаться только вне котельной, на открытой площадке. Также при расчете дозировки реагента Hydrochem 140 для коррекционной обработки контура теплосети необходимо поддерживать содержание сульфита натрия в воде не менее 39,6 мг/л на 4,7 мг/л растворенного в воде кислорода, т.е. разбавлять реагент не в 10 раз, а в 5 раз.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогу произведенного анализа водно-химического режима и совершенствования технологической схемы водоподготовки котельной БМК-34 пос. Поволжский получили следующие результаты:

– Произведена замена оборудования блока умягчения на более экономически выгодное, к установке были приняты два рабочих фильтра без учета резервного, при этом расход технической соли и затраты воды на собственные нужды практически не изменились. При стабильной работе блока умягчения исключается наличие образований на стенках теплового оборудования, вследствие чего расход топлива не меняется и гарантируется длительный срок службы и безаварийной работы оборудования;

– Применение современного экологически чистого комплексона в антинакипной обработке не только повысит её эффективность, но произойдет удаление существующих образований на стенках оборудования и трубопроводов, а также исключаются загрязненные стоки из котельной;

– Посредством демонтажа абсолютно неэффективного деаэратора значительно сокращаются экономические затраты, вся нагрузка по удалению растворенных газов приходится на комплекс пропорционального дозирования, таким образом увеличиваются затраты реагентов на обработку;

– Как уже отмечалось, предложенные в работе рекомендации и решения могут служить технической базой для проектирования технологической схемы водоподготовки объекта, схожего с исследуемым по показателям исходной воды и тепловым нагрузкам.

**Основные положения диссертации опубликованы в 3 статьях автора:**

1) Коробцова П.С. Анализ водно-химического режима установок химводоочистки в котельной / Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии: сборник статей XX Международной научно-практической конференции / МНИЦ ПГАУ. – Пенза: РИО ПГАУ, 2018. – с. 59-63

2) Коробцова, П.С. Исследование водно-химического режима химводоочистки в котельной / П.С. Коробцова, Г.Д. Шагиева // «Студенческие Дни науки в ТГУ»: научно-практическая конференция (Тольятти, 2–27 апреля 2018 года) : сборник студенческих работ / отв. за вып. С.Х. Петерайтис. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2018. – с. 4-6.

3) Коробцова, П.С. Совершенствование технологии водоподготовки котельной малой производительности из подземного источника / П.С. Коробцова // «Студенческие Дни науки в ТГУ»: научно-практическая конференция (Тольятти, 1–30 апреля 2019 года) : сборник студенческих работ / отв. за вып. С.Х. Петерайтис. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. – статья находится в стадии опубликования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Плотников Н. А., Алексеев В. С. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод. — М.: Стройиздат, 1990.— 256 с : ил.— (Охрана окружающей природной среды)
2. О недрах (в редакции Федерального закона от 3 марта 1995 года N 27-ФЗ) (с изменениями на 3 августа 2018 года) (редакция, действующая с 1 января 2019 года). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/9003403>
3. ГОСТ Р 51232-98 Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. Государственный стандарт Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Введ. – 01.07.1999. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003120>
4. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: Справочные материалы / Т.В. Гусева, Я.П. Молчанова, Е.А. Заика, В.Н. Виниченко, Е.М. Аверочкин. — М.: Эколайн, 2000. — 266 с.
5. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка: Учебн. Пособие для вузов. М.: Издательство МГУ, 1996 г. – 680 с.; 178 ил.
6. DIN 1988-100:2011-08. Deutsche norm. Codes of practice for drinking water installations - Part 100: Protection of drinking water, drinking water quality control; DVGW code of practice. Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen - Teil 100: Schutz des Trinkwassers, Erhaltung der Trinkwassergüte; Technische Regel des DVGW. – Mit DIN EN 2011-08. – Normenausschuss wasserwesen im DIN, 2011. – 19 p. URL: <https://catalogue.normdocs.ru/?type=card&cid=com.normdocs.din.card.10044290c90a4ff3cbe4ada7c53e4ab0>
7. СанПиН 2.1.4.1074-01 "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения" (с изменениями на 2 апреля 2018 года).

Постановление от 26 сентября 2001 года N 24. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901798042>

8. ГОСТ 31954-2012 Вода питьевая. Методы определения жесткости (с Поправкой). [Электронный ресурс]. – Введ. – 01.01.2014. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200097815>

9. РД 24.031.120-91 Методические указания. Нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов, организация водно-химического режима и химического контроля. [Электронный ресурс].–Введ. – 01.07.1991. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200031800>

10. Вихрев, В.Ф. Водоподготовка. Учебник для вузов. Под ред. М.С. Шкроба. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: «Энергия», 1973. – 416 с.

11. Теплоснабжение: Учебник для вузов/ А.А. Ионин, Б.М. Хлыбов, В.Н. Братенков, Е.Н. Терлецкая; Под ред. А.А. Ионина. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.

12. СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 (с Изменениями N 1, 2, 3). [Электронный ресурс]. – Введ. – 01.01.2013. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200093820>

13. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления: справочник/Ю.М. Кострикин, Н.А. Мещерский, О.В. Коровина. – М.: Москва Энергоатомиздат, 1990. – 252 с.

14. ГОСТ Р 55682.12-2013/ЕН 12952-12:2003 Котлы водотрубные и котельно-вспомогательное оборудование. Часть 12. Требования к качеству питательной и котельной воды. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200107478>

15. Николадзе, Г.И. Водоснабжение: Учеб. для вузов / Г.И. Николадзе, М.А. Сомов. – М.: Стройиздат, 1995. – 688 с.

16. Фрог, Б.Н. Водоподготовка: Учеб. пособие для вузов / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко. – М.: Издательство МГУ, 1996. – 680 с; 178 ил.

17. Jongmoon Choi, Pema Dorji, Ho Kyong Shon, Seungkwan Hong. Applications of capacitive deionization: Desalination, softening, selective removal, and energy efficiency/ The International Journal on the Science and Technology of Desalting and Water Purification. – 2019. – Volume 449. – p. 118-130. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/desalination/vol/449/suppl/C>
18. Оликер, И.И. Термическая деаэрация воды в отопительно – производственных котельных и тепловых сетях./ И.И. Оликер. – Издательство литературы по строительству «Ленинград», 1972. – 109 с.
19. I. Zekos, M.M. Stack. A note on a design protocol for deoxygenation of water/ Journal Electrochemistry Communications. – June 2019. – Volume 103. – p. 12-16. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1388248119300980>
20. Золотова, Е.Ф. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода / Е.Ф. Золотова, Г.Ю. Асс. – М.: Стройиздат, 1975. – 176 с.
21. Водоподготовка: Справочник. /Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
22. Санитарные правила и нормы СанПиН 4723-88 «Санитарные правила устройства и эксплуатации систем централизованного горячего водоснабжения» (утв. Главным государственным санитарным врачом СССР ноября 1988 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vashdom.ru/sanpin/4723-88/>
23. А. А. Болеев, Р. В. Потоловский, Е. В. Пустовалов. Исследование негативного воздействия коррозии на организм человека. Научный потенциал регионов на службу модернизации. Астрахань : АИСИ, 2012. № 2 (3). 170 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://xn--80aai1dk.xn--p1ai/files/documents/44-redaktor/nauka/izdaniya/nauch\\_potentsial/3/101-103.pdf](http://xn--80aai1dk.xn--p1ai/files/documents/44-redaktor/nauka/izdaniya/nauch_potentsial/3/101-103.pdf)
24. Руководящие указания по коагуляции воды на электростанциях. [Электронный ресурс]. – Введ. – 10.03.1972. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200044191>

25. Староверов С.В., Юдин Р.И. Анализ современных технологий обезжелезивания вод. Белгородский Государственный Технологический Университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2013. – 11 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sworld.com.ua/konfer33/1034.pdf>

26. Р.С.Штенгелов/ Курс лекций «Поиски и разведка подземных вод» (для студентов кафедры гидрогеологии геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://geo.web.ru/pubd/2014/02/21/0001187397/teil\\_pri\\_2.pdf](http://geo.web.ru/pubd/2014/02/21/0001187397/teil_pri_2.pdf)

27. Wilmarth W.A. Removal of iron, manganese and sulfides. – «J. Water Wastes Eng.», 1968, 5, 54.

28. Дебелый П.П., Новоженев С.В. Безреагентное дефторирование подземных вод с помощью фильтрующей среды КДМ./НП АВОК. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=2099](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2099)

29. Jagvir Singh, Prashant Singh, Anuradha Singh / Arabian Journal of Chemistry. – November 2016. – Volume 9, Issue 6. – p. 815-824. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535214001269#s0130>

30. СанПиН 2.1.4.1110-02 "Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения" (с изменениями на 25 сентября 2014 года). – Введ. – 01.06.2002. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901816579>

31. Постановление «Об утверждении проекта зоны санитарной охраны водозабора подземных вод хозяйственно-питьевого назначения Закрытого Акционерного Общества «СУТЭК», расположенного в районе пгт. Поволжский городского округа Тольятти Самарской области, и об установлении границ и режима зоны санитарной охраны водозабора подземных вод хозяйственно-питьевого назначения Закрытого Акционерного Общества «СУТЭК» от 16 июня 2015 года N 341. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/450246940>

32. Руководство по эксплуатации. Автоматические установки умягчения периодического действия HYDROTECH SSF. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hydrotech.nt-rt.ru/images/manuals/SSF.pdf>

33. Руководство по эксплуатации. Автоматические установки умягчения непрерывного действия HYDROTECH STF. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hydrotech.nt-rt.ru/images/manuals/STF.pdf>

34. Техническая информация PureLite. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://gk-taurus.ru/userfiles/product/Purolite/catalog\\_purolite.pdf](https://gk-taurus.ru/userfiles/product/Purolite/catalog_purolite.pdf)

35. Техническая информация. Промышленная химия ООО «Аквахим». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://him-kazan.ru/katalog/reagentyi-hydrochem>

36. ПБ-10-574-03 Документы по надзору в электроэнергетике. Выпуск 47. «Требования к качеству питательной и котловой воды». – Введ. – 2008. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cdknhp.ru/images/law/fnporpd/Pr3.pdf>

37. ГОСТ 26449.1-85 Установки дистилляционные опреснительные стационарные. Методы химического анализа соленых вод. – Введ. – 01.01.1987. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200019501>

38. Каталог продукции «АВАКС». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tdredoctober.com/catalog/deaerazionnie-ustanovki/avaks.html>

39. Шарапов, В.И. О деаэрации подпиточной воды для теплофикационных систем / В.И. Шарапов // Журнал промышленная энергетика. – 2014. – №8. – с. 41-45

40. Шарапов В.И., Орлов М.Е. Проверка деаэратора «АВАКС» в промышленной эксплуатации. – Энергосбережение и водоподготовка. – 2008, №2.

41. ГОСТ 16860-88 Деаэраторы термические. Типы, основные параметры, приемка, методы контроля (с Изменением N 1). Межгосударственный

стандарт. [Электронный ресурс]. – Введ. – 01.01.1990. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200011642>

42. Лифшиц, О.В. Справочник по водоподготовке котельных установок. Изд. 2-е, перераб. и доп./ О.В. Лифшиц. – М.: «Энергия», 1976. – 288 с.

43. СП 124.13330.2012 Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003. [Электронный ресурс]. – Введ.– 01.01.2013. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200095545>

44. СО 34.37.536-2004. «Методические рекомендации по применению антинакипинов и ингибиторов коррозии ОЭДФК, АФОН 200-60А, АФОН 230-23А, ПАФ-13А, ИОМС-1 и их аналогов, проверенных и сертифицированных в РАО «ЕЭС России» на энергопредприятиях» [Электронный ресурс]. – Введ.– 01.10.2004. Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4691\\_snip\\_114274.html](http://snipov.net/c_4691_snip_114274.html)

45. Ковальчук, А.П. О применении комплексонов для антикоррозионно и противонакипной обработки питательной и подпиточной воды в системах паро-теплоснабжения и горячего водоснабжения/ А.П. Ковальчук// Журнал «Новости теплоснабжения». – 2001. – №1 (05).