

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

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Центр инженерного оборудования

(наименование)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Водоснабжение городов и промышленных предприятий

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Оптимизация процесса получения глубоко-обессоленной воды
для промышленного водоснабжения ПАО «ТОАЗ»

Студент

А.С. Буторова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный руководитель

доктор техн. наук, профессор, В.А. Селезнев

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

Тольятти 2021

Оглавление

Введение.....	4
Глава 1 Обзор и анализ существующих методов обессоливания воды на промышленных предприятиях.....	8
1.1 Промышленная водоподготовка.....	8
1.2 Основные требования к воде, используемой для производственных целей и ее влияние на технологическое оборудование.....	10
1.3 Аналитический краткий обзор существующих методов обессоливания воды, используемых в промышленной водоподготовке.....	14
1.4 Сравнение существующих методов обессоливания воды.....	18
Глава 2 Промышленная водоподготовка на ПАО «ТОАЗ».....	21
2.1 Технологический процесс коагулирования воды, как первый этап водоподготовки.....	21
2.1.1 Описание направления деятельности и выпускаемой продукции предприятием ПАО «ТОАЗ».....	21
2.1.2 Описание общей технологической схемы первого этапа водоподготовки. Подогрев речной воды.....	23
2.1.3 Получение известково-коагулированной воды в осветлителях....	27
2.2 Технологический процесс получения глубоко-обессоленной воды для агрегата по производству аммиака, как второй этап водоподготовки.....	33
2.2.1 Описание цеха производства аммиака.....	33
2.2.2 Установка приготовления питательной воды.....	34
2.2.3 Характеристика материалов, полупродуктов и энергоресурсов...	35
2.2.4 Описание технологической схемы получения глубоко- обессоленной воды на агрегате.....	36
2.2.5 Восстановление емкости катионита.....	39
2.2.6 Охрана окружающей среды.....	41
Глава 3 Практические рекомендации по оптимизации процесса водоподготовки на ПАО «ТОАЗ».....	44

3.1 Обоснование оптимизации установки получения частично-обессоленной воды путем использования современных материалов ...	44
3.2 Обоснование оптимизации установки получения глубоко-обессоленной воды.....	49
Заключение	63
Список используемых источников.....	65

Введение

Актуальность работы. Использование воды в промышленности довольно разнообразно: она может являться теплоносителем, реакционной средой и сырьем для производства различной химической продукции (водорода, ацетилена, аммиака, серной и азотной кислот и др). «Во многих производствах химической, металлургической, пищевой и легкой промышленности, вода используется как универсальный растворитель твердых, жидких и газообразных веществ. Нередко ее применяют для механической промывки газов, жидких и твердых материалов, из которых она вымывает загрязнения» [55]. Водяной пар или нагретая (в редких случаях перегретая) вода используется при нагревании взаимодействующих веществ для ускорения скорости течения процесса или компенсации затрат тепла в эндотермических процессах.

«Вода, используемая в химической промышленности, должна удовлетворять по качеству определенным требованиям. Качество воды определяется совокупностью физических и химических характеристик, к которым относятся: цвет, прозрачность, запах, общее солесодержание, жесткость, рН, окисляемость и тд. Для промышленных вод важнейшими из этих характеристик являются: солесодержание, жесткость, рН, содержание взвешенных веществ» [5].

Растворенные в воде вещества образуют при нагревании накипь на стенках аппаратуры и вызывают коррозионное разрушение. Грубодисперсные взвеси засоряют трубопроводы, снижают их производительность, могут вызвать их закупорку. Все это вызывает необходимость предварительной подготовки воды, поступающей на производство.

На сегодняшний день современные предприятия расходуют несоизмеримое количество водных ресурсов, которые измеряются на больших комбинатах миллионами кубических метров в сутки. Расходные

коэффициенты воды на 1 тонну сделанной продукции, примерно следующие цифры: для аммиака 1500 м³, контактной серной кислоты 50 м³ и т.д. Большая часть этой воды (главным образом, теплотехническая) может после охлаждения или очистки вновь возвращаться на то же производство: в случае возврата она называется оборотной водой.

Химическая отрасль относится к основным водопотребителям в промышленности. Ввиду высокого спроса на воду и повышенными требованиями к ее качеству, актуальным вопросом становится поиск новых технологических решений обессоливания. Кардинально менять всю технологическую схему процесса на ПАО «ТОАЗ» не представляется возможным, ввиду больших капитальных затрат. Поэтому альтернативой является замена реагентов и некоторых элементов оборудования системы водоподготовки.

Так как для ПАО «ТОАЗ» источником речной воды является Куйбышевское водохранилище, и проблема содержания в воде солей и др. примесей стоит довольно остро, необходимостью является специализированная водоподготовка, а именно глубокое обессоливание, без которого не будет осуществляться дальнейший технологический процесс по производству аммиака.

Объект исследования: установка приготовления частично-обессоленной воды и установка приготовления питательной воды, получаемой из частично-обессоленной воды и парового конденсата.

Предмет исследования: замена ионообменной смолы в установке приготовления частично-обессоленной воды и внедрение ФСД в процесс приготовления питательной воды.

Цель работы – разработка мероприятий по оптимизации процесса получения питательной воды, путем замены ионообменной смолы и применении ФСД (фильтра смешенного действия) в технологической схеме для осуществления процесса производства аммиака на крупнотоннажном агрегате ПАО «ТОАЗ».

Для реализации цели поставлены следующие **научно-технические задачи**:

1) Рассмотреть основные требования, предъявляемые к воде, используемой для производственных целей и определить ее влияние на технологическое оборудование.

2) Выполнить литературный обзор существующих способов обессоливания поверхностных вод и провести их сравнительный анализ.

3) Проанализировать действующую технологию промышленной водоподготовки на ПАО «ТОАЗ»;

4) Дать практические рекомендации по оптимизации процесса водоподготовки с использованием современных реагентов и оборудования.

Методологической основой работы является комплексный подход. Для решения поставленных задач применялись следующие методы:

- теоретические (анализ научно-методической литературы);
- практические методы (наблюдение, измерение, сравнение).

Научная новизна заключается во внедрении фильтров смешенного действия в технологическую схему водоподготовки на предприятии ПАО «ТОАЗ» для глубокого обессоливания и в использовании современной ионообменной смолы с высокой обменной емкостью.

Практическая значимость работы заключается в том, что предлагаемые конструктивные решения позволят в результате водоподготовки получить питательную воду, соответствующую эксплуатационным нормам паровых котлов.

Апробация работы. Основные положения опубликованы в двух работах автора:

1) Буторова А.С. Способы обессоливания воды на промышленном предприятии // Молодежь. Наука. Общество: материалы Всероссийской студенческой научно-практической междисциплинарной конференции. Тольятти. 2021.

2) Буторова А.С. Совершенствование схемы получения обессоленной воды путем замены катионита КУ-2-8 в фильтрах смешенного действия на современные аналоги // Сборник статей XXII Международной научно-практической конференции «Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии»: /МНИЦ ПГАУ. – Пенза: РИО ПГАУ, 2021 г. – С. 22-25.

Личный вклад автора состоит в обобщении исходных составляющих, в обосновании темы, цели, задач и разработке практических рекомендаций по оптимизации водоподготовки для промышленного предприятия ПАО «ТОАЗ» с целью повышения энергоэффективности.

Структура и объем диссертации.

Диссертация содержит введение, 3 главы, заключение по изложенному материалу, практические рекомендации по оптимизации процесса и библиографии из 66 наименований. Объем работы включает в себя 71 страниц машинописного текста, а также 15 рисунков и 15 таблиц.

Глава 1 Обзор и анализ существующих методов обессоливания воды на промышленных предприятиях

1.1 Промышленная водоподготовка

Вода является природным ресурсом. Она необходима абсолютно во всех видах деятельности человека и должна иметь параметры, заданные потребителями (промышленные производства, коммунальные службы и множество других служб). Для этого возникает необходимость в промышленной водоподготовке с использованием довольно большого количества специализированного оборудования.

Природную воду принято делить на 3 вида, сильно различающихся по наличию примесей:

«Атмосферная вода - вода дождевых и снеговых осадков, содержит минимальное количество примесей, главным образом, растворенные газы CO_2 , O_2 , а в промышленных районах NO_x , SO_x . Почти не содержит растворенные соли» [4].

«Поверхностные воды представляют воды открытых водоемов: рек, озер, каналов, водохранилищ. В состав поверхностных вод входят различные минеральные и органические вещества, природа и концентрация которых зависят от климатических, геоморфологических, почвенно-геологических условий, а также от агро- и гидротехнических методов, развития промышленности в регионе и других факторов» [33].

«Подземная вода — вода артезианских скважин, колодцев, ключей, гейзеров. Для них характерно высокое содержание минеральных солей, выщелачиваемых из почвы и осадочных пород и малое содержание органических веществ» [4].

Негативное влияние примесей, содержащихся в промышленной воде, зависит и от их химической природы, и от концентрации, и от дисперсного состояния, и, что не маловажно, от технологии конкретного производства,

где впоследствии используется вода. «Все вещества, присутствующие в воде, могут находиться в виде истинного раствора (соли, газы, некоторые органические соединения в коллоидном состоянии) и во взвешенном состоянии (глинистые, песчаные, известковые частицы)» [4].

Требования по качеству к воде, необходимой для проведения различных технологических процессов довольно разнообразны. В основном они обуславливаются спецификой производства, где в большем количестве случаев требования к воде гораздо выше требований, предъявляемых к питьевой воде. Все необходимо выполняемые требования по качеству воды устанавливаются специальными ведомственными нормами. «В воде, используемой для приготовления растворов кислот, щелочей, красителей и мыла, жесткость воды не должна превышать десятых долей ммоль/л» [56].

На промышленном предприятии подготовительный этап очистки воды представляет собой ряд комплексных операций, обеспечивающих устранение вредных примесей, которые находятся в различных состояниях (молекулярно-растворенном, коллоидном, взвешенном). Это дает возможность предотвращения ряда разрушающих процессов:

- коррозия металлических элементов;
- образование накипи;
- унос солей паром;
- загрязнение материалов, которые подвергаются обработке с использованием воды.

Самыми важными и необходимыми операциями подготовки воды являются: удаление из воды взвешенных веществ методами отстаивания или фильтрации через различные фильтры, обессоливание или умягчение. Некоторые производства требуют дополнительного обесцвечивания, нейтрализации, дегазации и обеззараживания.

Обессоливание воды используется на производствах с особыми жесткими требованиями по «чистоте». Таким примером является котловая вода. Также высокие требования у воды, используемой при получении

полупроводниковых материалов, химически чистых реактивов, фармацевтических препаратов.

Обессоливание воды достигается несколькими методами, наиболее используемыми являются: ионный обмен, дистилляция и обратный осмос.

1.2 Основные требования к воде, используемой для производственных целей и ее влияние на технологическое оборудование

Вода не должна:

1) «Приводить к образованию отложений в трубопроводах, из-за чего уменьшается коэффициент теплопередачи, сужается поперечное сечение, тем самым увеличивается сопротивление движению потока воды, и в целом снижается эффективность системы и технико-экономические показатели ее работы» [55].

2) «Приводить к образованию и развитию в трубах живых микроорганизмов, микроводорослей, ракушек, мидий, дрейсены и т.п, т.е. к биологическому обрастанию системы» [55].

3) «Вызывать отложение накипи при достаточно высокой температуре воды» [55].

4) «Вызывать интенсивную коррозионность трубопроводов и оборудования. Скорость коррозии увеличивается при низких рН, повышенном солесодержании, увеличении концентрации хлоридов, сульфатов, агрессивных газов (O_2 , CO_2 , H_2S), а также с повышением температуры и давления воды» [55].

Вода условно делится на питьевую и техническую, в зависимости от назначения. Содержание примесей в питьевой и технической воде регламентируется соответствующими стандартами.

Техническая вода является непригодной для питья, но пригодной по имеющимся в ней примесям для пользования в технологических процессах.

«Получается, как правило, в результате неполной очистки промышленных и бытовых стоков, из солёных морских или других природных и шахтных вод, из систем водооборота на обогатительных, металлургических и других производствах» [48].

Питьевая вода – это вода, предназначенная для каждодневного употребления человеком и другими живыми существами для поддержания жизни. «Главным отличием от столовых и минеральных вод является пониженное содержание солей (сухого остатка), а также наличие действующих стандартов на общий состав и свойства (СанПиН 2.1.4.1074-01 — для централизованных систем водоснабжения и СанПиН 2.1.4.1116-02 — для вод, расфасованных в ёмкости)» [34].

«Качество воды определяется тремя главными анализами: физическими, химическими и бактериологическими. Важнейшими показателями качества воды являются запах, вкус, прозрачность, цвет, температура, содержание взвешенных частиц, сухой остаток, общая щелочность и ее составляющие, окисляемость и реакция воды (pH)» [55]. «Жесткость воды обуславливается способностью воды образовывать пену с мылом» [66].

Источником вод для технологических нужд предприятий, как правило, являются природные воды поверхностных источников (в данной работе источником речной воды является Куйбышевское водохранилище). В связи с этим, проблемой является содержание в природной воде следующих элементов: катионов Na^+ , K^+ , NH_4^+ и др. и анионов Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , также ионов кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}), стронция (Sr^{2+}), бария (Ba^{2+}), железа (Fe^{3+}), марганца (Mn^{2+}) и тд.

Природная вода содержит множество различных веществ в разных состояниях, которые делают ее сложной динамической системой, ниже в таблице 1 представлена их классификация по фазово-дисперсному состоянию.

Таблица 1 – Классификация вод по фазово-дисперсному состоянию

Группа	Наименование	Размер частиц, мкм	Характеристика примесей
Гетерогенная система			
I	Взвеси	$>10^{-1}$	Суспензии и эмульсии, обуславливающие мутность воды; микроорганизмы и планктон
II	Коллоидно-растворенные вещества	$10^{-1} \cdot 10^{-2}$	Коллоиды и высокомолекулярные соединения, обуславливающие окисляемость и цветность воды; вирусы
Гомогенная система			
III	Молекулярно-растворенные вещества	$10^{-2} \cdot 10^{-3}$	Газы, растворимые в воде; органические вещества, придающие воде запах и привкус
IV	Вещества, диссоциированные на ионы (электролиты)	$<10^{-3}$	Соли, кислоты, основания, придающие воде жесткость, щелочность и минерализованность

«Во взвешенном состоянии (в случае, когда размер частиц более 10^{-2} мкм) природные воды могут содержать не только глинистые и песчаные частицы, но также известковые и гипсовые. Также могут присутствовать живые организмы в виде различных бактерий, грибков, водорослей, ракушек и т. п. Состав природных вод постоянно терпит изменения, чему способствуют процессы окисления и восстановления» [55], «смешение вод из различных источников, выпадения содержащихся в них солей в результате изменения температуры и давления, осаждения и взмучивания грубодисперсных частиц, обмена ионами между почвенными грунтами и водой, обогащения подземных вод микроэлементами вследствие микробиологических процессов» [54].

Природная вода обладает свойствами электропроводимости и минерализации.

«Численное выражение способности водного раствора проводить электрический ток называется электропроводимостью, зависит в основном от концентрации растворенных минеральных солей. Минеральную часть воды составляют такие ионы как Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , обусловливается

электропроводимость природных вод. Присутствие ионов Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , NO_3^- , HPO_4^{2-} , не значительно влияет на электропроводимость, только если эти ионы не содержатся в водном растворе в достаточно значительных количествах. По значениям электропроводимости можно приближенно судить о минерализации воды» [55].

Минерализация – это значение, равное сумме содержания всех находящихся в воде при анализе минеральных веществ. «Минерализация природных вод, определяющая их удельную электропроводность, изменяется в широких пределах. Большое число рек значение минерализации колеблется от нескольких десятков миллиграммов в литре до нескольких сотен, то есть от 30 до 1500 мкСм/см» [55]. «Минерализация подземных вод и соленых озер изменяется в интервале от 40 мг/л до сотен г/л (плотность в этом случае уже значительно отличается от единицы)» [35]. По значению общей минерализации природная вода делится на семь групп, расписанных в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика вод по общей минерализации

Наименование воды	Общая минерализация, г/дм ³
Ультрапресная	До 0,1
Пресная	Более 0,1 до 1,0
Слабопресная	Более 1,0 до 3,0
Соленая	Более 3,0 до 10,0
Сильносоленая	Более 10,0 до 50,0
Рассол	Более 50,0 до 300,0
Ультрарассол	Более 300

В связи с тем, что предприятия промышленности предъявляют собственные требования к подаваемой жидкости, то обессоливание водного раствора для устранения примесей является одним из главных критериев и «вызывает значительный интерес, особенно в последние десять лет [70]. Обессоливанием называется процесс полного или частичного удаления из воды катионов Na^+ , K^+ , NH_4^+ и др. и анионов Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- и т. д.

1.3 Аналитический краткий обзор существующих методов обессоливания воды, используемых в промышленной водоподготовке

Существует достаточно большой выбор методов для осуществления процесса обессоливания воды, которые зависят от начального содержания солей в жидкости, производительности установки (требуемый объем очищенной воды в час/сутки), затрат на составляющие процесса (тепло, электроэнергия, реагенты), необходимые показатели после системы получения обессоленной воды.

Каждый метод обессоливания обладает рядом преимуществ и недостатков и осуществляется с помощью технических средств.

Некоторые виды производств предъявляют требования более глубокого обессоливания водных ресурсов, общее солесодержание которых не должно превышать 0,05 – 0,01 мг-экв/л. Как ранее было сказано, полное обессоливание воды проводится четырьмя часто используемых на промпредприятиях способами.

«Наиболее надежным способом, которым достигается обессоливание воды – **метод ионного обмена**. Осаживание примесей таким способом позволяет получить более чистую жидкость за короткий срок, что важно при промышленном обессоливании. Способ является наиболее экономически выгодным и дает лучший результат очистки» [32]. Суть этого метода заключается в удалении из жидкости катионов и анионов солей. В результате такого процесса очистки можно получить различную степень деминерализации, вплоть до глубокого обессоливания (полного удаления солевых агентов). «Обессоливание воды ионным обменом происходит при участии ионитов, которые представляют собой нерастворимые в воде полимеры, содержащие подвижный ион. При созданных условиях подготовленный полимер вступает в реакцию обмена с ионами солей того же знака. Помещенные в водную среду иониты набухают, увеличиваясь в

размере в 1,5-2 раза. По мере прохождения времени иониты собирают растворенные в воде соли и уплотняются. Насыщенные иониты регенерируют, после чего проводят их очистку. Продукты, полученные из насыщенных ионитов, называются "элюаты", в их состав входят растворы солей и щелочей. Часть из них являются ценными веществами, поэтому их утилизируют как ценные компоненты» [32].

«Частичное обессоливание воды происходит при умягчении методами H-Na- катионирования. В этих процессах происходит извлечение солей жесткости и частичная их замена на катион водорода или натрия, который разрушает бикарбонат-ионы с последующим удалением образовавшегося углекислого газа из воды. Степень обессоливания соответствует количеству удаленного CaCO_3 » [45]. «При глубоком обессоливании из раствора удаляются все макро- и микрокомпоненты, т.е. соли и примеси. Степень очистки раствора по каждому макрокомпоненту (катиону и аниону) зависит от их сродства к данному иониту, т.е. от расположения в рядах селективности. Подбирая иониты, степень их регенерации и количество ступеней очистки, можно добиться необходимой глубины очистки воды практически любого исходного состава» [45].

«Обессоливание может проводиться в одну, две, три ступени или смешанным слоем ионитов» [45]. Каждая ступень фильтрации играет важную роль. Сначала водный раствор очищается на катионите в H-форме (при этом извлекаются находящиеся в растворе катионы), а затем на анионите в OH-форме (процесс OH-анионирования). Глубокое извлечение катионов и анионов происходит только на сильноосновных анионитах и сильноокислотных катионитах.

«Высокую степень очистки можно обеспечить в одном аппарате со смесью катионита в H-форме и анионита в OH-форме, т.е. фильтре смешанного действия. В этом случае отсутствует противоионный эффект, и из воды за один проход через слой смеси ионитов извлекаются все находящиеся в растворе ионы. Очищенный раствор имеет нейтральное pH и

низкое солесодержание, примерно в 5–10 раз ниже, чем на одной ступени ионного обмена. Допускается работа с очень высокими скоростями очистки раствора, зависящими от его исходного солесодержания» [30].

«После насыщения ионитов для их регенерации смесь необходимо предварительно разделить на чистые катионит и анионит (они, как правило, имеют некоторое различие по плотности). Разделение может производиться гидродинамическим методом или путем заполнения фильтра концентрированным раствором щелочи» [30]. «Из-за сложности операций разделения смеси ионитов и их регенерации такие аппараты используются в основном для очистки малосоленых вод, например, контурных, для глубокой доочистки воды, обессоленной на отдельных слоях ионитов. То есть в тех случаях, когда регенерация проводится редко, либо иониты применяют для получения сверхчистой воды с сопротивлением, близким к 18 МОм/см, в химпромышленности, энергетике и микроэлектронике – там, где никакие другие способы не могут обеспечить заданное качество» [29].

Дистиляцией воды называют обессоливание воды с помощью метода дистиляции – этот метод считается самым устаревшим и, тем самым, распространенным на сегодняшнее время способом. Достоинством процесса является его доступность проведения, а недостатком – слишком высокая цена процесса. Основой получения воды без примесей является использование дистиляторов. «Они представляют собой испарители нескольких типов, разница между которыми состоит в конструкции, виде используемой энергии. Наиболее распространенные – паровые и электрические аппараты, отличающиеся дороговизной и большим потреблением энергоресурсов. Аппарат представляет собой котел (или несколько котлов) низкого давления, где жидкость превращается в пар и отделяет концентрат солей» [32]. Для максимальной очистки необходимо достичь и поддерживать в аппарате температуру медленного кипения, чтобы тяжелые примеси не попадали в конденсирующийся дистиллят. Как вариант уменьшения стоимости такой очистки является увеличение количества ступеней, но при этом такая

установка требует большого первоначального капиталовложения. «Оборудование для дистилляции помимо потребления большого количества энергии обладает внушительной стоимостью всех частей. Обеспечить высокую степень чистоты могут дорогостоящие трубы, арматура, теплообменники, испарители, сделанные из кварца или платины. Другие материалы непригодны» [32].

«Сущность **электрохимического обессоливания** воды электродиализом заключается в том, что в электрическом поле, создаваемом при пропуске постоянного тока через слой воды, происходит перенос ионов растворенных в воде солей, причем катионы солей движутся к катоду установки, а анионы солей - к аноду установки» [47]. «Система имеет три отсека, которые образуются при помощи катодной и анодной диафрагм. В срединном отсеке находится вода, подготовленная к обессоливаню. Через поток пропускают постоянный электрический ток, при помощи которого происходит сортировка солей на катодную и анодную диафрагмы. Метод является очень дорогостоящим по затратам на оборудование и издержкам на электроэнергию, в связи с чем не получил распространения» [32].

«Технический прогресс и начавшая наблюдаться нехватка пресной воды рождают новые технологии опреснения и обессоливания. Популярным способом становится метод обработки **обратным осмосом**, надежность ему гарантирует развитие мембранных технологий» [32]. Большой интерес к данному способу вызван в результате низких энергозатрат. Основное назначение аппаратов обратного осмоса используются, как доочистка речной воды согласно [42]. Эффективность установки при таком использовании многократно доказана. Также установку можно использовать и для домашней очистки, где она пригодна в плане энергозатрат, так и по качеству получаемого продукта. «Промышленный фильтр с обратным осмосом позволяет получать глубоко деминерализованную воду. Поток исходной воды под высоким давлением поступает на высокоселективную пористую мембрану или несколько мембран, на которой задерживается до 97-99% всех

известных загрязнителей. Основные примеси, удаляемые на промышленном осмосе, это: ионы тяжелых металлов, натрия, калия, сульфаты, хлориды, бор, фтор и множество других неорганических ионов» [37]. Сама мембрана представляет собой пористое строение, сквозь поры которой, в существенном количестве проходят лишь молекулы воды.

Эффективность использования данного устройства довольно высока, так как данный метод очищает воду от всех примесей. В результате чего осуществляется полная деминерализация, вредная для человеческого организма. «В большинстве случаев обывателю приходится выбирать между водопроводной водой или обработанной при помощи какого-либо фильтра. Меньшим злом является вода, лишенная всех природных компонентов. На сегодняшний день в некоторых странах уже существуют заводы по производству питьевой воды, где для обессоливания используют метод обратного осмоса, и в качестве дополнительной доочистки из нее выводят растворенные газы» [32].

1.4 Сравнение существующих методов обессоливания воды

Каждый из представленных способов обессоливания воды имеет как положительные, так и отрицательные качества. Разобравшись более подробно, можно прийти к выводу, к какому конкретно методу в различных случаях лучше отдать предпочтение.

«Ионный обмен помогает получить наиболее чистую воду, система надежна и не реагирует на степень минерализации исходной жидкости, требует небольших затрат на оборудование» [32]. Обессоливание осуществляется при минимальных потерях расхода воды. К минусам метода можно отнести потребность в больших свободных производственных площадях, причем место необходимо не только для установки самих фильтров, а также и размещении реагентов. Также существует

необходимость в дополнительном оборудовании для очистки регенерационных растворов.

«Дистилляция. Установки для обессоливания воды, основанные на термическом методе, используются без применения химических веществ, демонстрируют хорошее качество полученной жидкости, выделяемое в процессе работы тепло, можно использовать для других нужд. Отличительной чертой данного способа является возможность устранения растворенных в воде газов. К минусам метода относятся: большие энергозатраты, необходимость подготовки воды, затраты на обслуживание установки (чистка всех частей), дороговизна аппаратуры» [32].

Метод, связанный с мембранными установками, отличается от предыдущих тем, что не требует химических реагентов и довольно прост в обслуживании. Минусами метода можно назвать: подготовку воды к процессу обработки, большой объем воды для обеспечения работы аппаратов, большой расход электроэнергии, что сказывается на стоимости конечного продукта.

С преимуществами системы обратного осмоса все довольно просто. Вода прогоняется через фильтрующую установку и тем самым избавляется от всевозможных примесей, т.е. отфильтровываются соли, уходит железо, снижается жесткость и химическая активность жидкости. Впоследствии рабочая среда приобретает полностью прозрачный цвет и нейтральное химическое состояние. К ощутимым недостаткам применения такой технологии относятся достаточно большие габариты установки и очень высокая стоимость организации системы, а также огромные потери ресурса – более 20% воды сливается в канализацию на 1 литр очищенной жидкости. Полное отсутствие минералов в очищенной среде, как вредных, так и полезных. По этим причинам не для всех предприятий допустимо использование такой очистительной технологии.

Ниже в таблице 3 представлено оценочное сравнение методов обессоливания, разделенное по уровням: Мин – минимальный, Макс – максимальный и Ср – средний.

Таблица 3 – Оценочное сравнение методов обессоливания

Параметр	Обратный осмос	Ионный обмен	Дистилляция
Надежность	Ср	Макс	Макс
Степень обессоливания	Ср	Макс	Ср
Удаление органики	Макс	Мин	Ср
Удаление микрофлоры	Макс	Мин	Макс
Удаление взвесей	Макс	Мин	Макс
Удаление растворенных газов	Мин	Мин	Макс
Требования к переподготовке	Макс	Мин	Ср
Энергозатраты	Макс	Мин	Макс
Расход реагентов	Мин	Макс	Мин
Расход питающей воды	Макс	Мин	Мин
Объем отходов	Макс	Мин	Мин
Возможность переработки отходов	Мин	Макс	Макс
Возможность сброса отходов	Макс	Мин	Мин

Исходя из результатов таблицы, наиболее эффективным и подходящим вариантом для промышленного обессоливания воды в данной работе является метод ионного обмена.

Выводы по первой главе

1. Изложены требования к воде необходимые для ее использования в производственных целях.
2. Выполнен краткий аналитический обзор существующих способов обессоливания воды, а именно метода обратного осмоса, ионного обмена и дистилляции.
3. Определен наиболее экономичный и эффективный способ обессоливания воды для промышленного предприятия ПАО «ТОАЗ», опираясь на предыдущий пункт 2 и сравнивая основные параметры, предъявляемые к каждому из способов.

Глава 2 Промышленная водоподготовка на ПАО «ТОАЗ»

2.1 Технологический процесс коагулирования воды, как первый этап водоподготовки

2.1.1 Описание направления деятельности и выпускаемой продукции предприятием ПАО «ТОАЗ»

ПАО «Тольяттиазот» на сегодняшний день – это одно из крупнейших предприятий - гигантов химической промышленности России. Завод широко известен и в России, и также за рубежом.

Сегодня ПАО «ТОАЗ» охватывает «в себе 7 агрегатов по производству аммиака и 2 агрегата карбамида, расположенных на более чем 200 га производственной площадке» [52]. Сама площадка ПАО «ТОАЗ» находится недалеко от города на расстоянии около 12 км от ближайшего населённого пгт. Поволжский пунктов и представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – ПАО «Тольяттиазот» вид сверху

Важнейшими энергоносителями на предприятии ПАО «ТОАЗ» являются пар и вода.

«Помимо Российской Федерации, наши заказчики расположены в десятках стран на 5 континентах. Мощности ТОАЗ позволяют обеспечить около 20% спроса на российском рынке и 11% объема мирового экспорта аммиака. Бесперебойность поставок гарантирует развитая инфраструктура: помимо собственного железнодорожного парка из более 1400 вагонов, ТОАЗ имеет доступ к уникальному аммиакопроводу «Тольятти-Одесса» протяженностью более 2000 км» [52].

«Завод экспортирует свою продукцию более чем в 120 стран мира. Доля экспорта колеблется в районе 85% от общего объема производимой продукции. Помимо выпуска минеральных удобрений, в компании успешно освоили производство кирпича, базальтового супертонкого волокна, огнеупорных материалов и товаров народного потребления» [53].

Куйбышевское водохранилище является источником для снабжения химпроизводства водой. Ввиду того что ТОАЗ – это предприятие с непрерывным стабильным характером производства, значит, что годовой расход воды стабилен или немного меняется и равен приблизительно 20 млн. 324 тыс. м³ воды.

Для завода первенствующим проектом является «строительство глубоководного морского порта по перевалке аммиака, а также других важных народнохозяйственных грузов на полуострове Тамань (Темрюкский район, Краснодарский край)» [13]. Исполнение такого большого проекта требует очень баснословных вложений, куда предприятие за прошлые годы вложило достаточные средства для безостановочного строительства. «Большая часть объектов необходимых для запуска давно готовы» [13], строительство выполнялось по всем требованиям безопасности и экологичности.

У «Тольяттиазот» на территории находятся биологические очистные сооружения (БОС). Сточные Комсомольского района города Тольятти и

сточные воды с поселка Поволжский также идут на сооружения очистки, расположенные на предприятии. В настоящее время, сточные воды, которые прошли биологическую очистку на сооружениях принадлежат категории «нормативно очищенные». Сейчас предприятие осуществляет проект по модернизированию очистных сооружений, смысл этой модернизации заключается в том, чтобы треть стоков возвращалось обратно производство. Благодаря этому процессу сократится в разы потребление речной воды.

2.1.2 Описание общей технологической схемы первого этапа водоподготовки. Подогрев речной воды

Вода, перед тем как попасть на конкретное производство проходит несколько этапов водоподготовки. Цех химводоподготовки, введенный в эксплуатацию в 1981 году является первым этапом. «Проектная мощность производства - 1200 м³/ч обессоленной воды. Достигнутая мощность производства обусловлена потребностью цехов-потребителей в химически очищенной воде» [50].

В таблице 4 представлена характеристика воды на всех этапах подготовки.

Таблица 4 – Характеристика воды на всех этапах, от речной загрязненной до осветленной согласно регламенту ПАО «ТОАЗ»

Показатель	Способ контроля	Речная вода	Известково-коагулированная вода	Осветленная вода
1	2	3	4	5
Общая жесткость, не более мг-экв/л	Комплексометрический (Комплекс-ий)	4,5	3,5	3,5
Общая щелочность, не более мг-экв/л	Объемный	2,5	0,7 - 1,0	0,7 - 1,0
Общее солесодержание, не более мг/л	Кондуктометрический	400		
Массовая концентрация кальция, не более мг/л	(Комплекс-ий)	65	34,9	
Массовая концентрация магния, не более мг/л	(Комплекс-ий)	18	18	
Массовая концентрация натрия, не более мг/л	Пламенно-фотометрический	40	40	
Массовая концентрация железа, не более мг/л	Колориметрический	1	0,3	0,3

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5
Массовая концентрация сульфатов, не более мг/л	Нефелометрический	90	124	124
Массовая концентрация хлоридов, не более мг/л	Нефелометрический	60	60	
Массовая концентрация бикарбонатов, не более мг/л	(Комплекс-ий)	165	42,7	
Массовая концентрация кремнекислоты, не более мг/л	Колориметрический	10	7,0	
Массовая концентрация взвешенных веществ, не более мг/л	Нефелометрический	20	15	2,0
Окисляемость, не более мг О ₂ /л	Перманганатометрический	20	4,5	4,5
pH	Электрометрический	7,6	10,0 - 10,4	10,0 - 10,4
Гидратная щелочность, мг-экв/л	Расчетный	0,1 - 0,2		
Доза коагулянта, мг-экв/л	Расчетный	0,25 - 0,75		

Речная вода поступает на территорию ПАО «ТООЗ» по двум трубам в корпус 181 (насосная станция второго подъема). В корпусе 181 происходит деление общего объема поступающей воды на два цеха занимающихся водоподготовкой: цех №12 и цех №19. Цех №12 предназначен для осветления и частичного обессоливания речной воды, которая подается в цех от 181 корпуса. В свою очередь, не доходя до цеха водоподготовки №12, десятая часть воды от ветки на цех уходит на производство метанола, которым занимается ООО «ТОМЕТ» на территории ПАО «ТООЗ».

В цехе №12 (отделение 1) осветление воды осуществляется обработкой реагентами в осветлителях нагретой до 29-36 градусов речной воды. Далее происходит фильтрование свежеполученной известково-коагулированной воды на механических фильтрах.

Осветлением воды, иными словами, можно назвать извлечение взвешенных веществ при помощи коагулянтов, которые «формируют частицы и осаждаются в виде хлопьев» [67]. Основными из применяемых способов считаются отстаивание, процесс коагуляции-известкования.

К подготовке воды всегда следует относиться ответственно и уделять должное внимание, так как хорошо подготовленная вода говорит о длительной бесперебойной работе производства в течение большого

количества времени. Основные этапы подготовки воды, осуществляемые в цехе №12 и фильтровального зала корп. 188 представлены на рисунке 2.

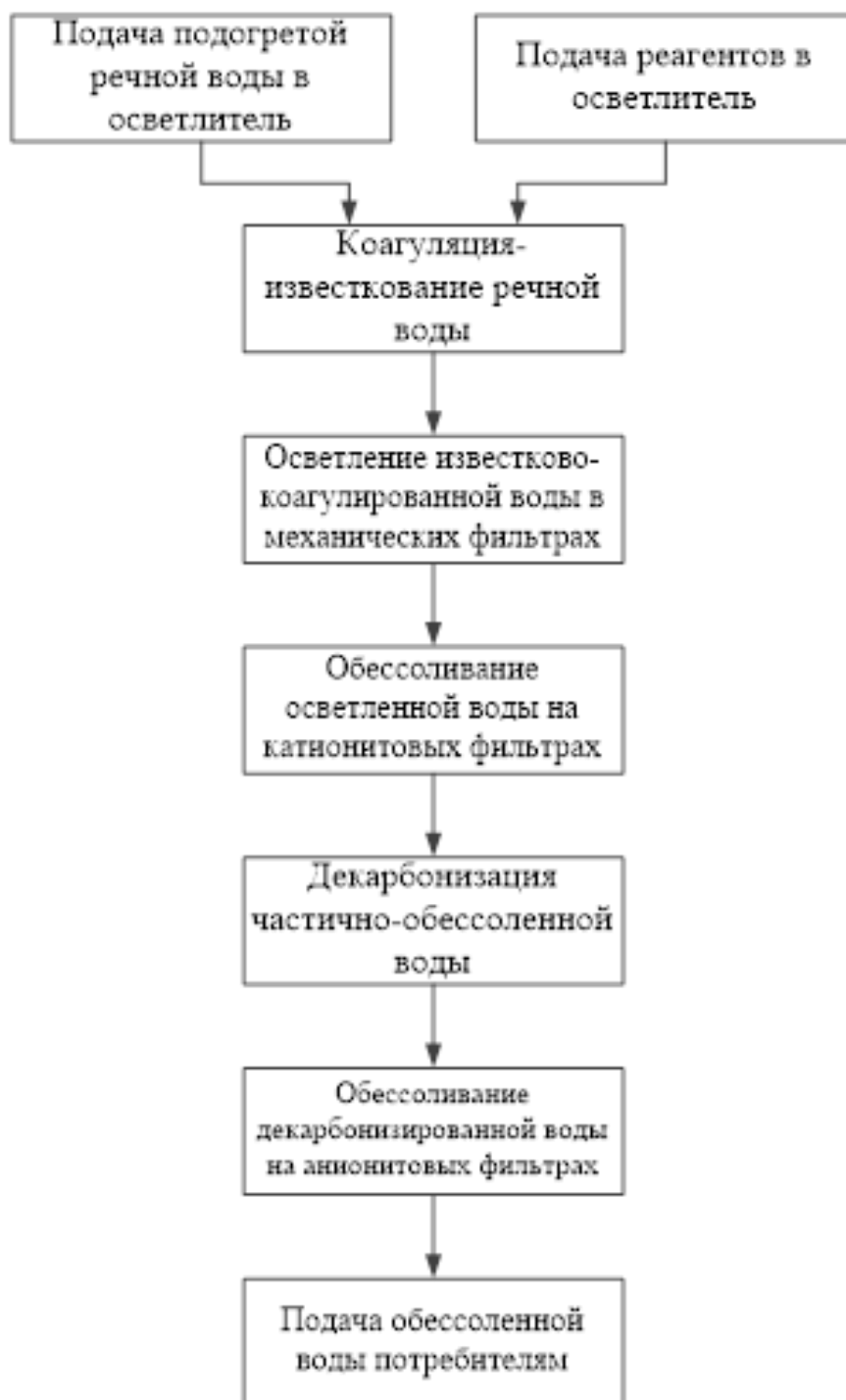
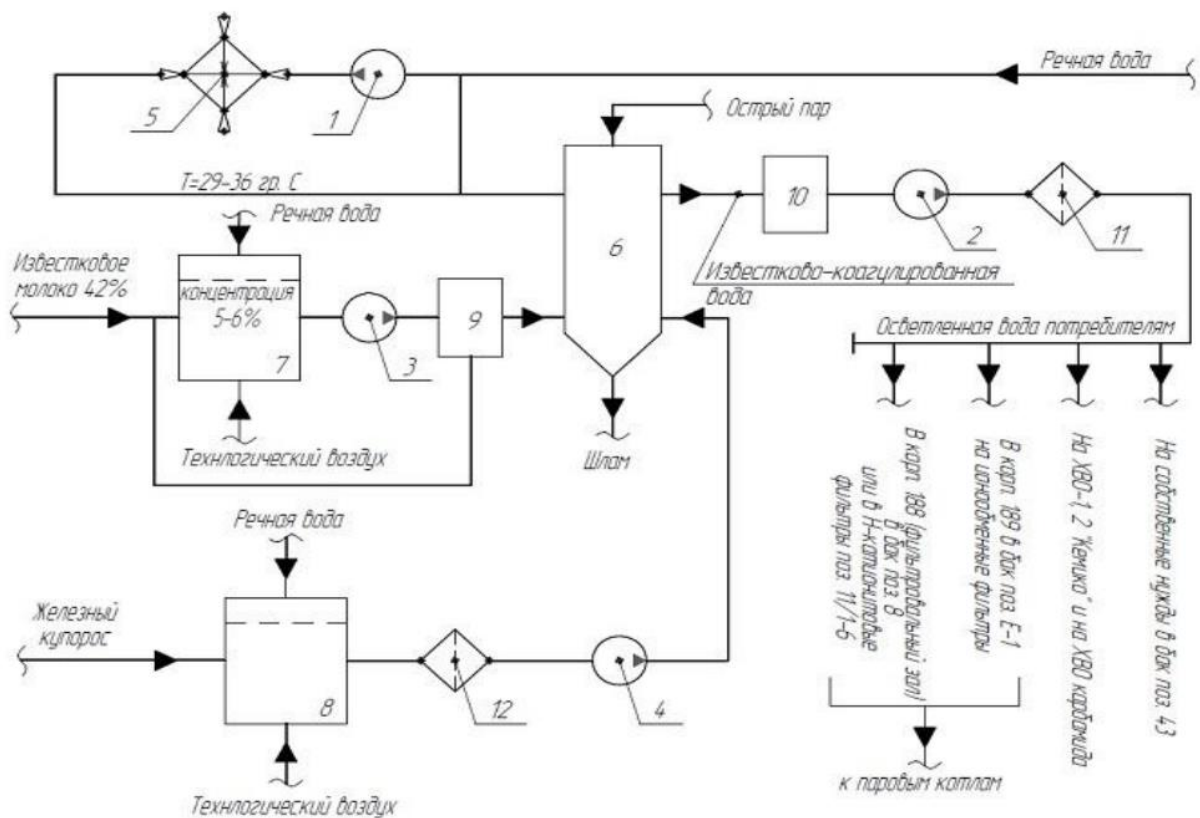


Рисунок 2 – Этапы подготовки воды

На рисунке 3 представлена принципиальная схема водоподготовки речной воды, используемая на ПАО «ТОАЗ».



1, 2, 3, 4 – насосы, 5 – теплообменники, осуществляемые подогрев воды до 29-36°C, 6 – осветлитель, 7 – бак приготовления известкового молока, 8 – бак приготовления раствора железного купороса, 9 – дозатор, 10 – бак известково-коагулированной воды, 11 – механические фильтры, загруженные антрацитовый крошкой, 12 – фильтр тонкой очистки

Рисунок 3 – Принципиальная схема водоподготовки речной воды, используемая на ОАО «ТОАЗ»

Речная вода с давлением не менее 0,4 Мпа (4,0 кгс/см³) поступает на всас насосов поз.1 цеха №12 и дальше для нагревания до 29-36°C подается на теплообменники поз. 5, расположенные на агрегатах №5 и №6. Подогретая на теплообменниках речная вода идет обратно в цех химводоочистки и попадает в общий коллектор с последующим распределением на осветлители.

Контроль за давлением воды происходит как на всасывании, так и на нагнетании и регистрируется приборами (КИП), температура холодной и подогретой теплообменниками воды также контролируется приборами.

Также контролируется и объем жидкости, идущей в цех, для этого используется специализированный ультразвуковой расходомер со счетчиком (УЗР) "АКУСТРОН", располагающийся на линии нагретой воды.

«Предусмотрена подача речной воды на агрегаты аммиака минуя насосы через перемычку между всасом и нагнетанием» [12].

Бывают такие случаи, что вода не нагревается до необходимых температур на агрегатах аммиака №5 и №6, тогда возникает необходимость в повышении температуры непосредственно в осветлителях. Для этого нужно подать острый пар из заводской сети (рисунок 3). Его давление должно быть не менее 0,5 Мпа (5,0 кгс/см³) и температура не менее 150°С. А в моментах, когда случается перегрев воды, температуру можно понизить, смешивая перегретую воду с холодной речной водой через перемычку, которая стоит между коллекторами контура специального для таких случаев. В редких случаях когда объема подаваемой воды не хватает для охлаждения и уменьшения температуры, холодная вода из реки идет по байпасу в осветлители, минуя контур. Температура на всех стадиях процесса контролируется КИП.

2.1.3 Получение известково-коагулированной воды в осветлителях

«Процесс коагуляции-известкования применяется для снижения содержания взвешенных коллоидных, органических и минеральных примесей, для укрупнения выпадающей взвеси, полного удаления свободной угольной кислоты, частичного умягчения, снижения щелочности, содержания магния и окислов железа, для снижения на 30-40% содержания кремнекислоты. Основан на кристаллизации и осаждении нежелательных примесей из обрабатываемом воды и удаления их в виде осадка. Коагуляция является физико-химическим процессом слипания коллоидных частиц и образования грубодисперсных хлопьев, выпадающих в осадок» [50].

Эскиз осветлителя представлен на рисунке 4.

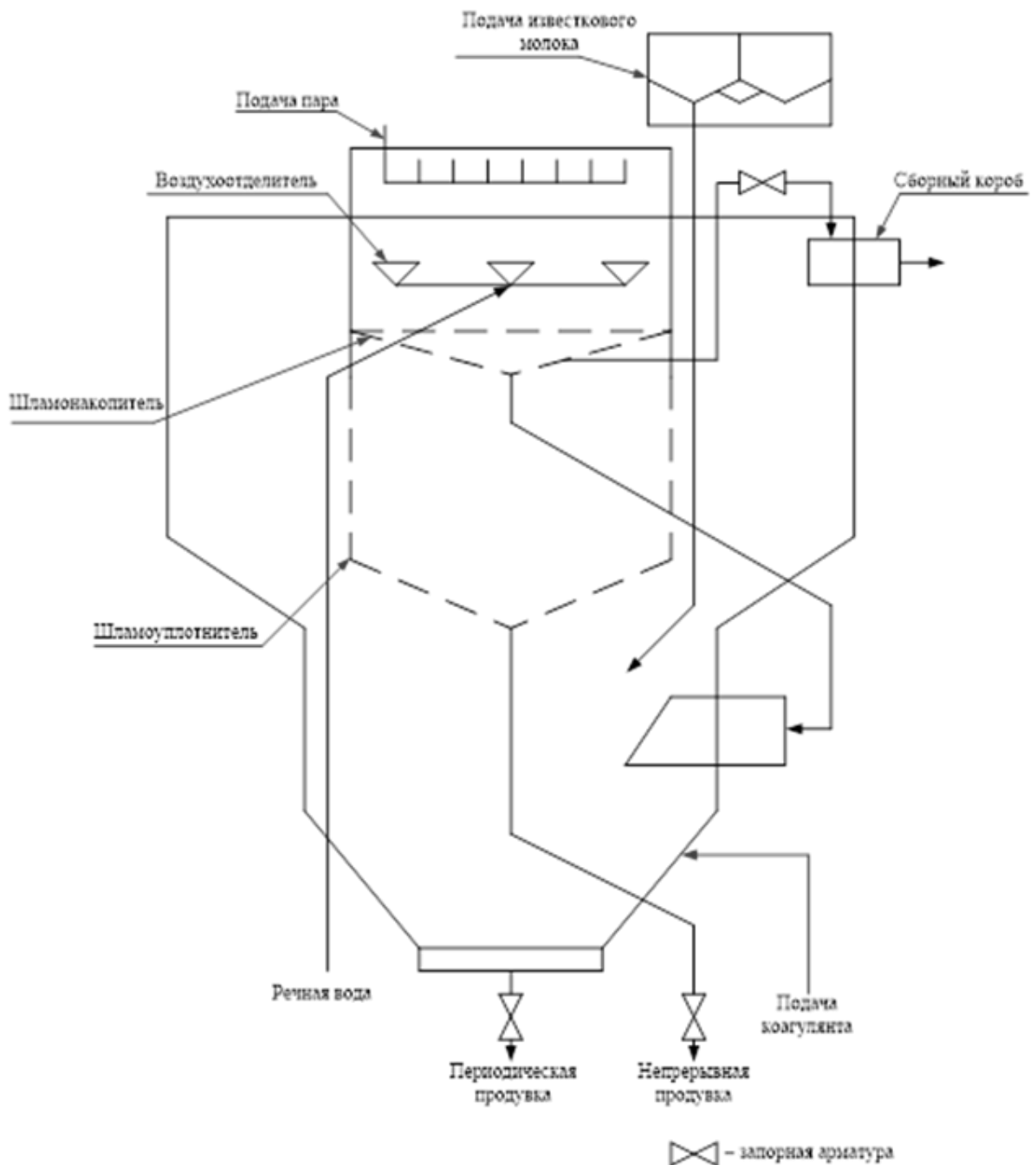


Рисунок 4 – Эскиз осветлителя

«Освобожденная от пузырьков вода поступает в нижнюю конусообразную часть осветлителя по трубе, специально сделанной тангенциально, для осуществления вращательного движения. Благодаря такому вращению получается равномерно перемешанная вода с известковым молоком и коагулянт» [50].

«Известковое молоко из корп. 187 поступает в баки под номером 7, снабженные уровнемерами. Сюда же в бак подается речная вода для того, чтобы разбавить раствор до концентрации 5,0-6,0%, а снизу в бак через барботажное устройство подаётся технологический воздух для осуществления перемешивания, чтобы избежать расслоения и оседания твердой фракции» [50].

«Из баков номер 7 известковое молоко центробежными насосами поз.3 подается в дозатор типа "Димба" поз.9, где ножом-дозатором разделяется на 2 потока, один самотеком поступает в нижнюю коническую часть осветлителя – в зону реакции, другой (избыток известкового молока) возвращается в баки» [39].

Для промывки трубопроводов на всасе и трубопровода известкового молока перед дозатором "Димба" предусмотрен подвод речной воды. «Объем известкового молока, идущего в осветлитель, регулируется автоматическим контроллером «Ремиконт-130» по заданному значению параметра рН степенью открытия ножа дозатора на «Димба». Также можно осуществлять ручное регулирование, которое предусматривает дистанционное регулирование ножом-дозатором с ЦПУ, подача известкового молока контролируется по рН-метру» [50].

«Сернокислое железо (коагулянт) привозят на установки предочистки автотранспортом с базы оборудования цеха №36 в мешках весом 750-800 кг каждый, которые загружают с помощью кран-балки в расходные емкости поз.8, предварительно заполнив их речной водой на 60-70%, при этом одна емкость находится в работе, а во второй идет процесс приготовления 4,5-5,0№ раствора сернокислого железа. Перемешивание и растворение гранул производится с помощью технологического воздуха, который подается снизу через барботажное устройство» [39].

«Из баков поз.8 через фильтр тонкой очистки поз.12 раствор сернокислого железа поступает на всас насосов-дозаторов поз.4, которые подают его в зону реакции осветлителей поз.6» [39].

«На формирование хлопьев, а также их отделение из воды оказывают влияние следующие факторы: дозы реагентов, величина рН, условия ввода реагентов и перемешивания их с водой, температура воды и ее стабильность, скорость восходящего движения воды в осветлителе и количество взвеси в исходной воде» [38].

При известковании воды образуется углекислый кальций и гидрат окиси магния, которые выпадают в осадок, образуя шлам. «Введение коагулянта производится для углубления очистки воды, так как одного известкования для удаления тонкодисперсных механических примесей и веществ, находящихся в коллоидном состоянии, недостаточно» [10]. Если же процесс известкования проводился бы без добавления сернокислого железа, то есть коагулянта, то укрупнения бы не происходило. Тогда бы тонкие взвеси осадков выносились потоком воды из осветлителя и задерживались в ионообменных фильтрах, тем самым ухудшая работоспособность ионитов. Осветлитель, так сказать, выступает в роли шламowego фильтра, речная вода, проходя через который освобождается от взвесей малорастворимых соединений.

В результате процессов известкования и укрупнения взвесей на шламовом фильтре (процесс сорбции) взвесь уплотняется. Впоследствии «образуются тяжелые плотные скопления, которые опускаются вниз и периодически удаляются из осветлителя через линию периодической продувки. Весь шлам, выводимый из осветлителей, по лоткам пола стекает в резервуары сбора шлама, сюда же по барботажному устройству подается технологический воздух во избежание застывания шлама в них. Из прямиков насосами шлам откачивается в осветлители или в канализацию» [50].

«Известково-коагулированная вода из баков поз.10 насосами поз.2 подается на осветление в механические фильтры поз.11, загруженные антрацитовый крошкой с размером зерен 0,8-2,6 мм. Осветление происходит в результате прилипания грубодисперсных примесей, находящихся в воде, к

зернам антрацитовой крошки и задержания их на поверхности и в порах» [39]. «В каждую из трех камер вода поступает сверху вниз через верхнее распределительное устройство и выходит из камеры через перфорированные лучи нижней дренажной системы. Забивка антрацитовой загрузки частичками шлама ведет к снижению прозрачности, воды и повышению содержания взвешенных веществ в осветленной воде» [50]. «При повышении содержания взвешенных веществ в фильтрате более 2 мг/дм³ или снижении прозрачности выше 25 см фильтрование прекращается и производится промывка антрацита обратным потоком воды. Перед промывкой антрацит в каждой камере взрыхляется в течение пяти минут технологическим воздухом для повышения интенсивности водной промывки и снижения расхода воды на нее. Вода на промывку в фильтры поз.11 подается снизу вверх. Сначала ведется промывка нижней, потом средней, а затем верхней камеры. Промывка заканчивается при появлении светлой воды на сбросе с фильтра, затем производится отмывка антрацита по рабочей линии до регламентных показателей» [39].

После механических фильтров, представленных на рисунке 5, осветленная вода подается потребителям, указанным на рисунке 3. Количество воды контролируется расходомером и измеряется диафрагмой, установленной на этой линии.

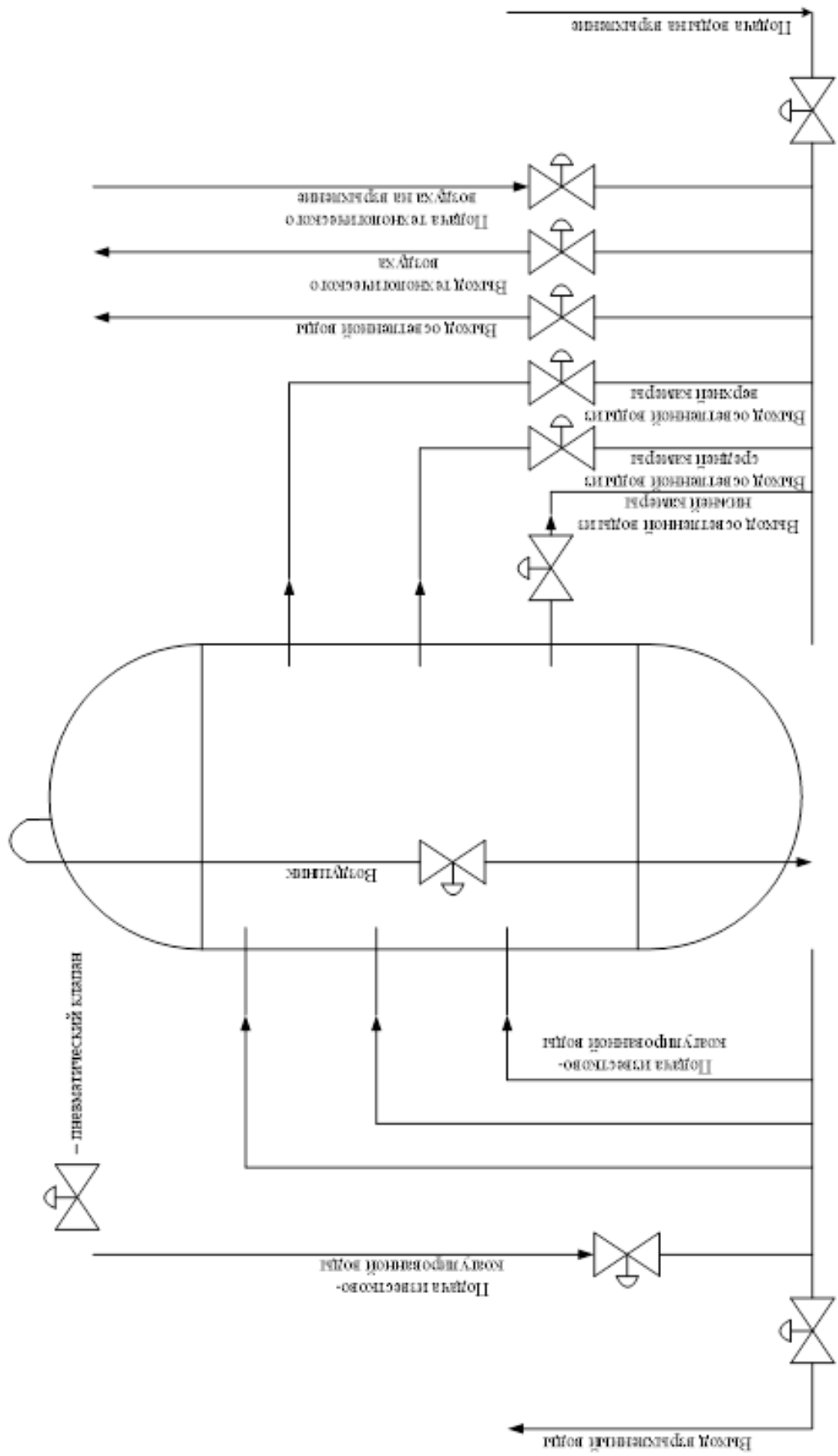


Рисунок 5 – Схема механического фильтра

Осветленная вода после обработки на механических фильтрах подается в сеть потребителям на различные нужды всех цехов и агрегатов завода (в систему охлаждения, в оборотное водоснабжение, в качестве подпитки и др.). Но за исключением тех цехов, которые предъявляют дополнительные требования к качеству воды и имеют свои станции с водоподготовкой на территории агрегата. К таковым относится агрегат №6 по производству аммиака. Перед подачей непосредственно на агрегат вода поступает в фильтровальный зал корп. 188 цеха №12.

2.2 Технологический процесс получения глубоко-обессоленной воды для агрегата по производству аммиака, как второй этап водоподготовки

2.2.1 Описание цеха производства аммиака

Полное наименование производства: производство аммиака на отечественном и частично импортном оборудовании.

В объем комплекса производства аммиака включены пять корпусов. Каждый отвечает за определенный технологический процесс.

Корпус 01 делится на блок А и блок Б. Блоком А является административно-бытовой комплекс (АБК), а блоком Б центральный пункт управления (ЦПУ), где сидят операторы и следят за всеми технологическим процессами результатом которых является получение аммиака.

Корпуса 02, 03, 04 отвечают за компрессию, подготовку природного газа и обезжелезненного конденсата.

Корпус 05 делится на 3 блока. Одним из которых является 10 блок, где происходит процесс получения глубоко-обессоленной воды для последующей подачи на агрегат и котлы. Следующим блоком считается котельная – блок 2, которая также получает часть глубоко-обессоленной воды для собственных нужд.

Общий вид агрегата №6 представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – УКЛ АМ – 76 агрегат №6

2.2.2 Установка приготовления питательной воды

Процесс получения питательной воды осуществляется в одну технологическую линию, при этом на отдельных стадиях процесса имеется ряд однотипного оборудования, работающего параллельно по коллекторной схеме (фильтры, насосы, емкости и пр.).

Метод производства: получение питательной воды осуществляется методом обессоливания смеси предварительно обезжелезненного конденсата и частично обессоленной воды на ионообменных фильтрах с последующим удалением кислорода в термических деаэраторах. Схема процесса получения глубоко-обессоленной воды с указанием позиций оборудования представлена на рисунке 7 в следующем пункте.

Проектная производительность установки по питательной воде 438 м³/ч, включая в расчет возвращаемые в термический деаэратор конденсаты 231 м³/ч. В том числе: обезжелезненного и обессоленного конденсата – 207 м³/ч

2.2.3 Характеристика материалов, полупродуктов и энергоресурсов

Частично-обессоленная вода, полностью прошедшая обработку в фильтрационном зале 12-ого цеха перед подачей на 10 блок, должна соответствовать характеристикам (сырья, полупродуктов, энергоресурсов), представленным ниже в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристика исходного сырья, полупродуктов и энергоресурсов

Наименование сырья, материалов, полупродуктов.	Показатели обязательные для проверки.	Регламентируемые показатели с допустимыми отклонениями.
1	2	3
Частично обессоленная вода, прошедшая обработку в цехе химводоочистки	Качество воды:	Не более 5 мкг-экв/л
	жесткость общая	
	Щелочность общая	Не более 150 мкг- экв/л
	Солесодержание	Не более 10 мг/л
	рН	6,5 – 7,5
	Кремнекислота	Не более 20 мкг/л
	Железо общее	Не более 50 мкг/л
Турбинный конденсат и конденсат от паровых рубашек	Температура	Не более 35 ⁰ С
	Электропроводность	Не более 10 мксм/см
	Качество:	
	Температура	Не более 55 ⁰ С
	Железо (общее)	Не более 0,5 мг/л
	Жесткость (общая)	Не более 5 мкг/л
	Кремнекислота	Не более 200 мкг/л
Конденсат от МЭА очистки	рН	7 – 9,6
	Электропроводность	Не более 10 мксм/см
	Медь	Не более 20 мкг/л
	рН	7 – 9
	Температура	Не более 57 ⁰ С
	Электропроводность	Не более 10 мксм/см
	Железо	Не более 0,5 мг/л
Катионит КУ-2-8	Кремнекислота (SiO ₂)	Не более 20 мкг/л
	Согласно ГОСТу. Внешний вид	Согласно ГОСТу сферические зерна от желтого до коричневого цвета.
	Размер зерен.	0,62 (+/- 0,05) мм
Lewatit MonoPlus M 500	Содержание влаги	50 - 60%
	Согласно ГОСТу. Внешний вид	Согласно ГОСТу сферические зерна цвета.
	Размер зерен	0,355 – 1,25
	Содержание влаги	48 – 55%

Продолжение таблицы 5

1	2	3
Кислота серная контактная улучшенная или техническая 1 сорта.	Соответствие ГОСТу.	Соответствие ГОСТу
	Содержание основного вещества	Не менее 92%.
Едкий натр технический жидкий, ртутный марки “РР”, “РД-1” NaOH	Соответствие ГОСТу	Согласно ГОСТу
	Содержание основного вещества	Не менее 42%
Сжатый воздух	Давление	3,5 – 6 кг/см ²
Азот N ₂	Концентрация	Не менее 99,97%
	Давление	3,5 – 6 кг/см ²
Пар водяной	Давление	Не более 3,5 кг/см ²
Пар водяной	Давление	Не менее 5 кг/см ²
Воздух КИП	Не допускается содержание масла и механических примесей.	
	Давление	4 – 6 кгс/см ²
Конденсат после катионитовых фильтров	Содержание железа	Не более 30 мкг/л
	РН	6,5 – 7,5

Вода должна соответствовать всем приведенным характеристикам, представленным в таблице выше.

2.2.4 Описание технологической схемы получения глубоко-обессоленной воды на агрегате

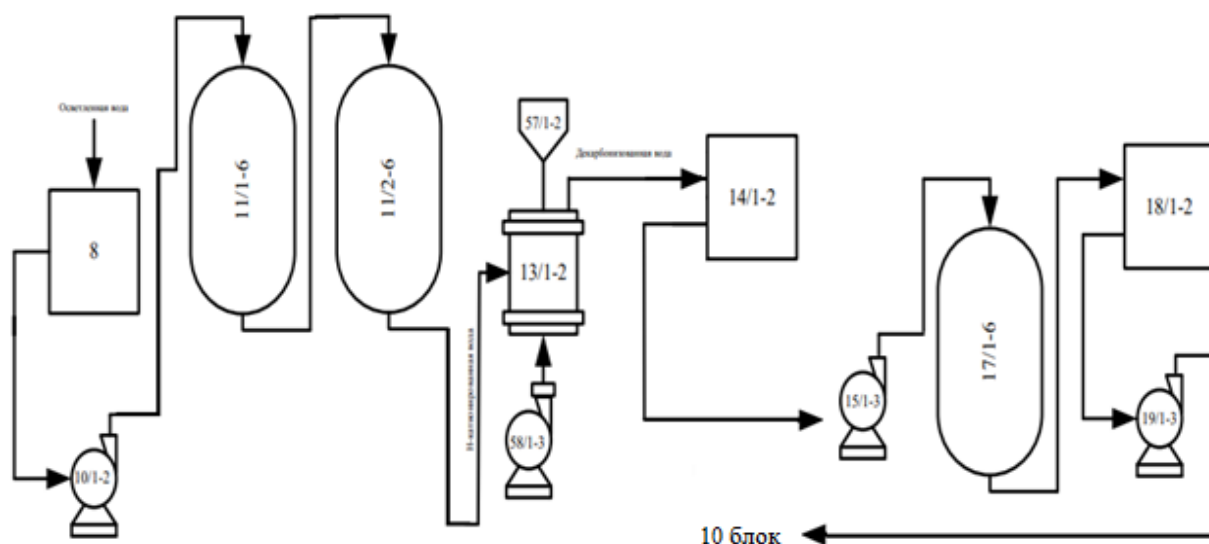
Получение питательной котловой воды производится посредством обработки смеси частично – обессоленной воды и возвращаемого с агрегата аммиака парового конденсата, прошедшего обработку на Н-катионитовых фильтрах.

Частично-обессоленная вода пожаро-взрывобезопасна и не имеет токсичных свойств.

Действующая технологическая схема процесса в 12 цехе представлена на рисунке 7.

Известково-коагулированная вода подается на установку приготовления частично-обессоленной воды в фильтровальный зал корп. 188 (отделение 2) и с замером расхода воды прибором поступает в емкость с

осветленной воды позиции 8 (рисунок 7). Бак осветленной воды представляет собой вертикальный с наружной теплоизоляцией резервуар, имеет внутреннюю химзащиту, V-200м³, Д-6630мм. Н-5980 мм. Оснащен блокировкой по верхнему и нижнему уровню LS-1004, уровнемером LA-1004, показания которого связаны с регулирующим клапаном на линии подачи частично-обессоленной воды из цеха химводоочистки №12.



8 – бак с осветленной водой; 10/1-2, 15/1-3, 19/1-3, 21/1-3 – насосы;
 11/1-6,2-6 - Н-катионитовые фильтры; 13/1-2 –декарбонизаторы;
 57/1-2 – брызгоотделители; 58/1-3 – вентиляторы; 14/1-2 – баки декарбонизованной воды;
 17/1-6 –анионитовые фильтры; 18/1-2 – баки частично-обессоленной воды.

Рисунок 7 – Существующая технологическая схема получения частично-обессоленной воды

Вода проходит химическое обессоливание методом ионного обмена на Н-катионитовых и анионитовых фильтрах. После Н-катионитовых фильтров 11/1-6 и 11/2-6 осуществляется декарбонизация. Вокруг каждого из фильтров расположены трубы и арматура, которая дает возможность переключения, соответствуя производимым операциям. Декарбонизованная вода идет в анионитовые фильтры 17/1-6, откуда уже частично-обессоленная насосами подается на 10 блок. На выходе из фильтров есть точки сбора проб воды или

регенерационного раствора на анализ. Полный цикл процессов в фильтрах описан на рисунке 8.



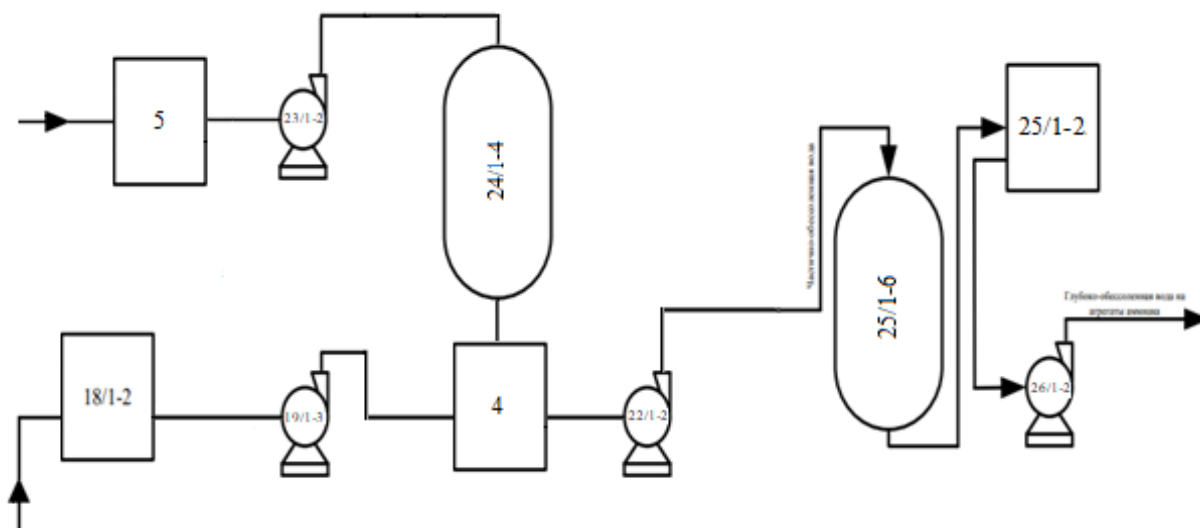
Рисунок 8 – Цикл процессов, протекающих в фильтрах

Следующие процессы протекают непосредственно на 10 блоке территории агрегата и представлены на рисунке 9.

Турбинный конденсат, газовый конденсат, конденсат паровых рубашек и кипятильников метилдиэтаноловой очистки собирается в бак для сбора конденсата поз. 5, представляющий собой вертикальный цилиндрический резервуар У-100 м³, Д-4800 мм, Н- 5980 мм. Оснащен уровнемером LY-1002 и защитной блокировкой по верхнему уровню LYS-1002. Внутренняя поверхность покрыта эмалью.

С помощью центробежных насосов поз. 23/1-2 конденсат направляется в предочистку на Н-катионитовые фильтры поз. 24/1-4, расположенные на 10

блоке. После очистки конденсат идет в бак поз. 4 и смешивается с частично обессоленной водой, пришедшей с 12 цеха 188 корпуса (фильтровального зала, отделение 2) для последующей фильтрации на Н-катионитовых фильтрах 25/1-6.



5 - бак для сбора конденсата; 23/1-2, 22/1-2, 19/1-3, 21/1-2 – насосы; 4 – бак сбора частично-обессоленной воды и парового конденсата; 25/1-6 – Н-катионитовые фильтры; 25/1-2 – бак с глубоко-обессоленной водой

Рисунок 9 – Существующая технологическая схема получения глубоко-обессоленной воды на 10 блоке

Далее полученная вода поступает в баки поз. 25/1-2 и насосами поз. 26/1-2 подается на агрегат. «Бак глубоко-обессоленной воды представляет собой вертикальную емкость с наружной теплоизоляцией и внутри покрыта химзащитой V-600 мЗ, Д-8020 мм, Н-13190 мм» [50].

2.2.5 Восстановление емкости катионита

Взрыхление катионита осуществляют «водой повторного использования, сначала второго, затем первого со сбросом в канализацию и заканчивается при появлении на сбросе с фильтров чистой воды без механических примесей» [50], образующихся при истирании катионита и частиц. Также в процессе взрыхления происходит разделение катионита и анионита за счет разного удельного веса. Интенсивность взрыхления должна

обеспечивать приведение во взвешенное состояние всей массы ионитового материала. Основным признаком того, что разделение смол происходит, является перемещение смолы в смотровом окне, поскольку окраска ионитов различная до загрузки смол в фильтр, после нескольких регенераций меняется настолько, что визуальное различие катионит от анионита становится невозможно. По истечении 30 мин взрыхления убедиться через пробоотборник в отсутствии в сбросной воде частичек разрушенной смолы и прочих мехпримесей. Если мехпримеси имеются, необходимо продолжать взрыхление до их отсутствия.

Когда обменная способность катионитового фильтра исчерпалась, производится регенерация катионитовой загрузки. Серная кислота с концентрацией не менее 92,5% из корпуса 185 поступает в баки-мерники хранения. Баки-мерники серной кислоты и едкого натра – вертикальные емкости диаметром 1200 мм и высотой 2040 мм, оснащены защитной блокировкой по верхнему уровню, связанной с отсекающими на мернике кислоты НСV-1008 и на мернике щелочи НСV-1009. Приготовление регенерационного раствора серной кислоты производится в эжекторе на декарбонизированной воде. «Проходя сужающее устройство (сопло) эжектора, скорость воды увеличивается, и в месте выхода струи из сопла создается разрежение, в результате чего происходит поступление кислоты в эжектор из баков. Давление регенерационного раствора после эжектора должно быть 0,3-0,4 МПа (3,0-4,0 кгс/см²), которое измеряется манометром» [50]. Убедившись в нормальной работе насоса или эжектора, необходимо отобрать пробу на входе регенерационного раствора кислоты в фильтр и определить концентрацию методом титрования. При концентрации регенерационного раствора 3% и расходе 26-27 м³/час продолжительность пропуска регенерационного раствора 12-18 минут. При меньшей или большей концентрации необходимо соответственно увеличить или уменьшить время пропуска раствора.

Промывка делится на 2 цикла. Первый цикл — это окончание регенерации. Осуществляется вытеснение регенерационного раствора декарбонизированной водой по линии регенерации и сбросом отработанного раствора в бак сбора кислых стоков. Продолжительность цикла 60 мин. Второй этап — это этап отдельной промывки, увеличивают расход сверху по расходомеру до 32 м³/час, не меняем расходов воды снизу. Продолжительность 60 минут. Далее вода из фильтра частично сливается, в течение 10-20 минут по расходомеру и отсекается закрывается. Перемешивание ионитов с сжатым воздухом происходит путем открытия клапана, чтобы через смотровое окно наблюдалось их интенсивное перемешивание.

Через 3-5 минут после окончания операции перемешивания клапан на входе обрабатываемой воды в фильтр плавно открыть и заполнить фильтр водой расходом 20-30 м³/час по расходомеру в течение 5-6 минут. После появления воды из воздушника, воздушник и клапан закрыть.

Отмывка прекращается при содержании в фильтре кремнекислоты менее 20 мкг/л и электропроводности фильтрата менее 0,5 мкСим/см.

2.2.6 Охрана окружающей среды

Отходами производства установки приготовления питательной воды являются стоки после регенерации фильтров очистки конденсата и фильтров смешанного действия, обессоленная вода, идущая на собственные нужды установки: взрыхление смол, дренирование фильтров, емкостей и трубопроводов. Сбросы не токсичны, не горючи, не взрывоопасны, pH 6,5 – 8,5.

Кислотные стоки собираются в баке-нейтрализаторе, где происходит их взаимная нейтрализация, в случае неполной взаимной нейтрализации предусмотрена подача в ёмкость серной кислоты или едкого натра.

Бак-нейтрализатор представляет собой вертикальный резервуар с наружной теплоизоляцией и внутри покрыт химзащитой, У-100 м³, Д-4800 мм, Н-5980 мм. Снабжен уровнемером.

«При обессоливании воды ионным обменом пропорционально солесодержанию питающей воды растут объем ионитов и оборудования, а также расход реагентов, т. е. капитальные и эксплуатационные затраты. Даже при оптимально организованной регенерации (противоток) с минимальным избытком реагентов, применяемых для регенерации ионитов, в сточные воды поступают извлеченные соли и использовавшиеся реагенты в соотношении 1,1:1 – 2, 0:1 к исходному количеству солей» [28]. «Следует учитывать, что эти соли находятся в небольшом объеме регенератов, соответственно, в высокой концентрации. Прямой сброс таких отходов запрещен, т.к. регенераты, как правило, имеют значение рН отличное от нормативов, что требует дополнительных затрат на их нейтрализацию. Чаще всего используется метод разбавления регенератов другими стоками с низким солесодержанием и значением рН близким к нейтральному. Кроме того, очень часто при проектировании канализационных сетей, отводящих стоки от установок ионного обмена, забывают о промывных водах, которые, как правило, трудно направить в голову технологического процесса для последующей обработки» [28].

Отходы делятся на отходы жидкого и твердого содержания.

К жидким относятся нейтральные стоки. Нейтральные стоки после восстановления обменной способности фильтров смешанного действия (ФСД) сроком 1 раз в 20 дней и нейтральные стоки после восстановления обменной способности обезжелезивающих фильтров сроком 1 раз в 15 дней сбрасываются в канализацию с минеральными загрязнениями.

Выводы по второй главе

1) Описана схема получения известково-коагулированной воды на промышленном предприятии ПАО «ТОАЗ», являющаяся первым этапом подготовки питательной воды.

2) 2. Приведена характеристика материалов, полупродуктов и энергоресурсов, показатели которых необходимо соблюдать для

осуществления процесса получения частично-обессоленной воды. Также приведены показатели воды, с которыми она возвращается с первого этапа водоподготовки и направляется на 10 блок.

3) Описана технология получения частично-обессоленной воды в фильтровальном зале корп. 188, цех №12, также относящаяся к первому этапу подготовки воды.

4) Описана технология получения глубоко-обессоленной воды на промышленном предприятии с регенерацией катионита и последующим процессом утилизации отходов, являющаяся вторым этап подготовки.

Глава 3 Практические рекомендации по оптимизации процесса водоподготовки на ПАО «ТООАЗ»

3.1 Обоснование оптимизации установки получения частично-обессоленной воды путем использования современных материалов

На сегодняшний день, вода прошедшая обработку в 12 цехе фильтровального зала корп. 188 имеет на выходе параметры, превышающие или близкие к установленным максимальным нормам, указанные в таблице 5 по некоторым из наиболее важных показателей. Таковыми являются: электропроводность, кремнекислота, щелочность, значения которых записываются посменно в журнале регистрации показаний и представлены на рисунке ниже.

АНАЛИЗЫ ПО ВОДЕ 10 БЛ.																																							
Время	An-1001			An-1010			An-1011			An-1019			An-1015 2/1			2/2			2/3			3			An-1018 1/1			1/2			1/3			1/4			1/5		
	8	16	20	8	16	20	8	16	20	8	16	20	8	16	20	8	16	20	8	16	20	8	16	20	8	16	20	8	16	20	8	16	20	8	16	20	8	16	20
рН				8,4												5,8																							
Эл. провод.				10												4																							
SiO ₂				8,3												4																							
Fe				47																																			
NH ₃																																							
Cl																																							
Жёсткость				4																																			
Щёлочность				113												24																							

Смена « Б » 8:00-20:00 Смена « Г » 8:00-20:00

*Воды резулт. кп. без изменений.
Дефектов не обнаружено.
В работе АД(1), АД(2).*

Смену сдал _____ Проверил _____
Смену принял _____ Проверил _____

Рисунок 10 – Параметры частично-обессоленной воды, прошедшей фильтровальный зал корп. 188

Проанализировав полученные данные, можно прийти к выводу, что вода требует специальной очистки до требуемых значений. Ввиду этого требуется замена ионообменных смол с наиболее подходящими очистительными свойствами для повышения надежности системы и предотвращения образования различного вида отложений на поверхностях всех линий трубопроводов и задействованного оборудования.

Спад на мировом рынке, занимающемся продажей ионообменных смол, произошел в начале 21 века. Попыток как-то его оживить предпринималось довольно много. Так с середины 90-ых годов на рынке появились смолы современного поколения, которые являлись монодисперсными. До этого по технологии смолы производились размерностью от 300 мкм до 1000 мкм и отклонения по размерности составляли от -30 мкм до +30 мкм. Более одинаковый размер зерен современных марок способствует созданию более низких гидравлических сопротивлений среды, что позволяет увеличить скорость фильтрационного потока. Новые монодисперсные иониты производятся путем полимеризации зерен суспензионным методом в водном растворе согласно [68]. Благодаря промежуточным процессам и условиям перемешивания получаются гранулы фиксированного размера, имеющие заданную степень набухания и определенный размер пор. Самым сложным в создании ионообменной смолы является нанесение на эти гранулы функциональных групп, которые, собственно говоря, и обеспечивают материал ионообменными свойствами. Делается это только на прецизионном оборудовании, квалифицированными кадрами и на достаточно крупных специализированных химических концернах. Применение монодисперсных ионообменных смол приводит к долговечности сред фильтрации, повышению ресурсности их работы, возрастанию ионообменной емкости и тд.

«Современные способы ионирования и использование новых типов катионитов позволяют существенно оптимизировать процесс Na-H-катионирования – снизить расход реагентов на регенерацию,

уменьшить расход воды на собственные нужды, сократить количество задействованного оборудования (фильтров) [46].

Большой интерес представляют иониты Lewatit MonoPlus® S 108 H, которые в последнее время довольно быстро продвигаются на российском рынке ионитов, «применяются для глубокого обессоливания воды в любых целях» [15].

Предлагается следующий вариант оптимизации: корпуса H-фильтров поз. 11/1-6 и 11/2-6, загруженные сильнокислотным катионитом марки КУ-2-8 перезагрузить смолой Lewatit MonoPlus S 108 H согласно [71], что позволит:

- снизить расход ионита при той же производительности;
- высокие скорости потока в циклах нагрузки и регенерации;
- равномерное распределение реагентов, воды и растворов, выраженные в гомогенной рабочей зоне;
- снизить расход воды на отмывку и количество сточных вод.

В качестве анионита с недавнего времени используется современная сильноосновная смола Purolite A400, замена которой не требуется.

Их отличием является уникальное строение матрицы новых монодисперсных ионитов обеспечивает продолжительный срок эксплуатации смолы даже в установках с короткими фильтроциклами. «Загрузка эффективно удаляет ионы солей жесткости даже в условиях высоких температур и наличия в исходной воде окислителей» [15]. Одной из ключевых особенностей этих ионитов Lewatit MonoPlus® S 108 H является сохранение исходных физико-химических показателей даже после многих фильтроциклов. Также улучшена устойчивость ионита к химическому и механическому воздействию.

Для повышения экономической эффективности использования смолы в фильтре был улучшен основной параметр ионита как ПСОЕ (полная статическая обменная емкость), что обеспечило «высокую рабочую емкость смолы и низкие проскоки ионов при небольшом расходе реагентов на

регенерацию. Оптимальная степень сшивки ионитов Lewatit MonoPlus® S 108 Н гарантирует отличную кинетику» [3].

«Очень высокий уровень монодисперсности [коэффициент монодисперсности не более 1.05 (+/- 0.05)] и очень низкое содержание мелких частиц макс. 0.1 % (< 0.4 мм) обеспечивает очень низкую потерю давления по высоте слоя в сочетании с эффективной и экономной работой в установках обессоливания» [14].

Lewatit MonoPlus S 108 Н придает слою смолы следующие свойства:

- высокая динамическая емкость при низких уровнях расхода реагента;
- низкое выделение органических веществ позволяет работать в присутствии больших количеств окислителей;
- хорошее разделение компонентов в фильтрах смешанного действия.

Таблица 6 – Общее описание ионитов Lewatit MonoPlus® S 108 Н

Ионная форма при поставке	H-форма
Функциональная группа	сульфоокислота
Матрица	сшитый полистирол
Структура	гелеобразная
Цвет	черные гранулы

Таблица 7 – Физико-химические свойства Lewatit MonoPlus® S 108Н

Размер гранул *, минимум 90%	мм	0,65 (+/- 0,05)	
Коэффициент монодисперсности (однородности)	макс.	1,05 (+/- 0,05)	
Насыпная плотность (+/- 5%)	г/д	800	
Плотность (приблизительно)	г/мл	1,22	
Содержание воды	%	47-53	
Общая обменная емкость	экв / л	2,1	
Дыхательная разность	H+ --> Na+	макс.%	-8
Стабильность	в диапазоне pH		0-14
Сохранность	продукта	мин. лет	2
	в диапазоне температур	°C	-20 до 40

Таблица 8 – Рекомендуемые условия использования

Рабочая температура	макс. °С	120	
Рабочий диапазон	pH	0-14	
Высота слоя	мин. мм	500	
Коэффициент потери давления (15 °С) на м/ч	прибл. кПа/м	1,0	
Допустимое падение давления	кПа	200	
Скорость потока при	фильтрации	макс. м/ч	60
	при обратной промывке (20°С)	м/ч	7
Расширение слоя (20°С) на м/ч	прибл. %	4	
Регенерирующее средство	тип	H ₂ SO ₄	
Противоточная регенерация	количество	прибл. г/л	80
	концентрация	%	3
Линейная скорость при:	регенерации	прибл. м/ч	10-20
	промывке	прибл. м/ч	5
Потребность в воде для отмывки	прибл. объем слоя	2	
Прямоточная регенерация	количество	прибл. г/л	150
	концентрация	%	3
Линейная скорость при:	регенерации	прибл. м/ч	10-20
	промывке	прибл. м/ч	5
Потребность в воде для отмывки	прибл. объем слоя	6	
Необходимое свободное пространство для обратной промывки	%	80-100	

Сейчас в качестве заполнителя по технологии используются сильнокислотные катиониты КУ-2-8, с характеристикой в таблице 9.

Таблица 9 – Общее описание ионитов КУ-2-8

Ионная форма при поставке	H-форма
Функциональная группа	сульфогруппа
Матрица	стирол-дивинилбензольная
Структура	гелеобразная
Цвет	от желтого до темно-коричневого цвета

Катионообменные смолы являются синтетическими органическими ионитами. Также существуют и неорганические, то есть, иными словами, природные, но применение их является тупиковым путем развития в современной водоподготовке. По внешнему виду катиониты КУ-2-8 больше всего напоминают зерна пшена правильной округлой формы, только немного в меньшем диаметре. «Классический размер гранул отсеивается в диапазоне от 0,29 мм до 1,29 мм. Поверхность зерна прочная, ровная и гладкая, без трещин и зазубрин. Новые гранулы имеют определенную влажность, примерно 50%, уточнить можно в паспорте, это относится скорее к содержанию влаги внутри гранулы, но и внешняя влага тоже помогает гранулам не рассыпаться по поверхности. Можно даже слепить небольшую пирамидку» [17].

Таблица 10 – Сравнительный анализ катионитов

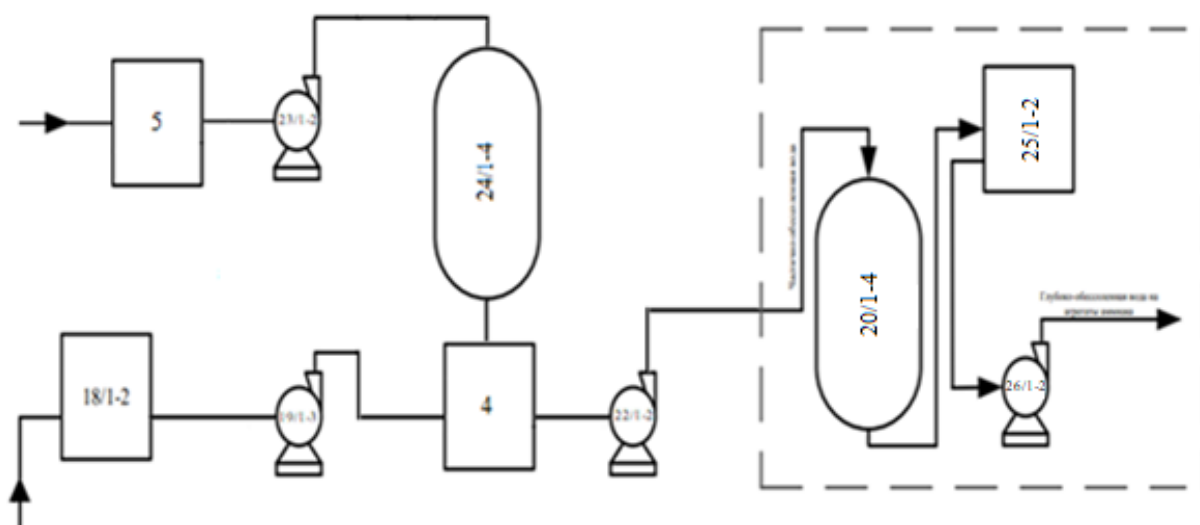
№ п/п	Наименование показателей	Lewatit MonoPlus S 108H	КУ-2-8
1	Насыпная масса, г/л	800	750
2	Общая обменная емкость, экв /л	2,2	1,5-1,7
3	Средний размер гранул, мм	0,65 (+/- 0,05) монодисперсные	0,3-1,3 полидисперсные
4	Массовая доля воды, %	47-53	50-58
5	Скорость потока при фильтрации, м/ч	20-30	60
6	Сохранность продукта, лет	2	1

3.2 Обоснование оптимизации установки получения глубоко-обессоленной воды

Так как питательная вода требует глубокого обессоливания с доведением воды до требуемой электропроводности, в данной работе предлагается использование фильтров смешенного действия на замену существующим Н-катионитовым фильтрам поз. 25/1-6, что позволит использовать современную ионообменную смолу с высокой обменной

емкостью и увеличить ее срок службы, повысить надежность и безопасность системы, также плюсом является компактность, простота и легкость в обслуживании. Технологические схемы, где в конце установлены ФСД позволяют получать воду, отвечающую самым высоким эксплуатационным требованиям согласно [41] для использования в паровых котлах .

Проектная технологическая схема процесса получения глубоко-обессоленной воды представлена на рисунке 10.



5 – бак для сбора конденсата; 23/1-2, 22/1-2, 19/1-3, 21/1-2 – насосы; 4 – бак сбора частично-обессоленной воды и парового конденсата; 20/1-6 – ФСД; 20/1-2 – бак с глубоко-обессоленной водой

Рисунок 11 – Проектная технологическая схема получения глубоко-обессоленной воды на 10 блоке

ФСД по конструкции немного отличаются от Н-катионитовых фильтров. Они имеют три дренажных устройства, а также смотровое окно на уровне среднего распределительного устройства и другую высоту слоев катионита и анионита. ФСД с внутренней регенерацией представлен на рисунке 12.

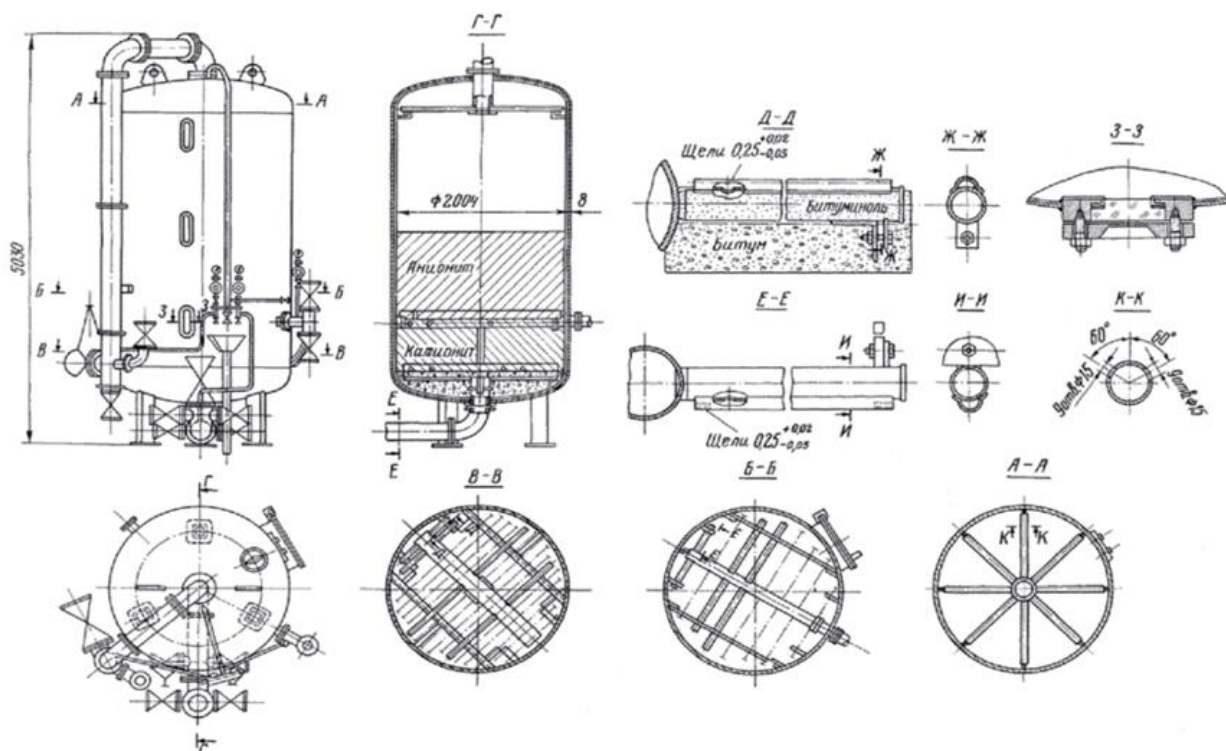


Рисунок 12 – Фильтр смешанного действия с внутренней регенерацией

Отличительной особенностью от отдельных процессов Н-катионирования и ОН-анионирования, процессы в фильтре смешанного действия протекают одновременно в одном аппарате, который наполнен смешанной смесью катионита и анионита - шихтой. «Верхнее распределительное устройство служит для подвода частично-деаэрированной воды при обессоливании, предварительной и окончательной отмывки ионов, сброса воды при взрыхлении и разделению ионитов, и также для подвода регенерационного раствора едкого натра. Среднее распределительное устройство служит для отвода отработанных регенерационных растворов и сброса воды при отмывке. Нижнее распределительное устройство предназначается для отвода глубоко-обессоленной воды и подвода регенерационного раствора кислоты, а также для подачи в фильтр воды при взрыхлении смол для разделения ионитов по плотности, и воздуха – для их перемешивания» [11]. Корпус фильтра содержит верхний и нижний люки, которые предназначены для заполнения материалами. Также через них есть

возможность делать ревизию и ремонт распределительных устройств, а также наносить коррозионно-стойкие покрытия.

Расчет фильтра смешенного действия осуществляется согласно методике [7]:

«Требуемая площадь фильтрования при скорости фильтрования» [6] равной 50 м/ч равна:

$$F = \frac{428}{50} = 8,56 \text{ м}^2$$

Площадь одного фильтра, исходя из формулы в [7] равна (в работе – 2; на регенерации – 1):

$$f = \frac{8,56}{3} = 2,8 \text{ м}^2$$

Подбираем под необходимую площадь одного фильтра размеры стандартного фильтра ФСДВр 2,0-0,6 [58]: $d/f=2,0/3,14$; высота фильтрующего слоя $h=1,7$ м, при соотношении К:А=1:1. Тогда действительная скорость фильтрования равна:

$$w = \frac{428}{3 \cdot 3,14} = 46,5 \text{ м/с}$$

«Длительность фильтроцикла ФСД с учетом регенерируемой шихты после пропуска 10^4 м^3 на 1 м^3 смеси ионитов» [6] равна:

$$T + t = \frac{10^4 \cdot 3,14 \cdot 1,7 \cdot 3}{428} = 365,6 \text{ ч}$$

«Суточное число регенераций фильтра» [6] равно значению:

$$m = \frac{24 \cdot 3}{365,6} = 0,2$$

Расходы 100% (H_2SO_4) и (NaOH) на регенерацию равны, учитывая что ($b_{\text{к}} = 60$) и ($b_{\text{щ}} = 100$):

$$\delta^{\text{кисл}} = 3,14 \cdot 0,85 \cdot 60 = 160,1 \text{ кг}$$

$$\delta^{\text{щел}} = 3,14 \cdot 0,85 \cdot 100 = 266,9 \text{ кг}$$

Суточный расход 100% (H_2SO_4) и (NaOH) равен:

$$\delta_{\text{сут}}^{\text{кисл}} = 160,1 \cdot 0,2 = 32 \text{ кг}$$

$$\delta_{\text{сут}}^{\text{щел}} = 266,9 \cdot 0,2 = 53,4 \text{ кг}$$

Часовой «расход воды на разделение смешанной шихты» [6] ($w=10$ м/ч, $t=25$ мин):

$$V_{\text{раздел}} = \frac{10 \cdot 3,14 \cdot 25}{60} = 13,1 \text{ м}^3$$

Часовой «объем воды на установление встречных потоков воды до начала регенерации» [6] ($w=5$ м/ч, $t=10$ мин):

$$V_{\text{встр.п}} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 3,14 \cdot 10}{60} = 5,2 \text{ м}^3$$

«Расход воды на приготовление 3% (H_2SO_4)» [6] равен:

$$V_{\text{кисл}} = \frac{160,1 \cdot 100}{3 \cdot 10^3} = 5,3 \text{ м}^3$$

«Расход воды на приготовление 4% (NaOH)» [6] равен:

$$V_{\text{щел}} = \frac{266,9 \cdot 100}{4 \cdot 10^3} = 6,7 \text{ м}^3$$

«Расход воды на раздельную одновременную отмывку катионита и анионита встречными потоками» [6] определяется учитывая ($w=5$ м/ч, $t=60$ мин):

$$V_{\text{раздел.отм}} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 3,14 \cdot 60}{60} = 31,4 \text{ м}^3$$

«Расход воды на доотмывку смешанной шихты после перемешивания ее воздухом» [6] ($a=5$ м³/ м³):

$$V_{\text{доотм}} = 3,14 \cdot 1,7 \cdot 5 = 26,7 \text{ м}^3$$

«Суммарный расход воды на собственные нужды ФСД» [6]:

$$V_{\text{общ}} = 13,1 + 5,2 + 5,3 + 6,7 + 31,4 + 26,7 = 88,4 \text{ м}^3$$

Часовой расход воды на собственные нужды ФСД:

$$q_{\text{час}}^{\text{фсд}} = \frac{0,3 \cdot 88,4}{24} = 0,77 \text{ м}^3/\text{ч}$$

«Время пропуска регенерационных растворов кислоты» [6] и щелочи ($w=5$ м/ч):

$$t_{\text{кисл}} = \frac{5,3 \cdot 60}{3,14 \cdot 5} = 20,2 \text{ мин}$$

$$t_{\text{щел}} = \frac{6,7 \cdot 60}{3,14 \cdot 5} = 25,6 \text{ мин}$$

«Время доотмывки смешанной шихты» [6] ($w=10$ м/ч):

$$t_{\text{доотм}} = \frac{26,7 \cdot 60}{3,14 \cdot 10} = 51 \text{ мин}$$

«Суммарное время регенерации ФСД с учетом перемешивания шихты воздухом ($t_{\text{перем}}=30$ мин) и затрат времени на неучтенные операции ($t_{\text{неучт}}=25$ мин)» [6]:

$$t_{\text{сум}} = 25 + 10 + 26,7 + 60 + 30 + 51 + 30 = 232,7 = 3,9 \text{ ч}$$

В результате расчета фильтра смешенного действия получены следующие параметры:

- диаметр фильтра 2000 мм;
- площадь фильтра 3,14 м²;
- h загрузки 1,7 м (отношение К:А = 1:1);
- время регенерации ФСД 3,9 ч
- в качестве катионита применена смола Lewatit MonoPlus S 108 Н, в качестве анионита Lewatit MonoPlus М 500 [21], [22].

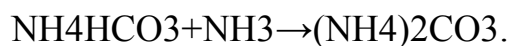
После обработки на ФСД глубоко-обессоленная вода поступает в бак поз. 25/1-2 и насосами поз. 26/1-2 подается в термический деаэратор для обескислороживания. Также осуществляется дополнительная обработка глубоко обессоленной воды путем амминирования и дозирования гидразин-гидрата.

Обогащение питательной воды свободной углекислотой СО₂ влияет на показатель среды рН, который при таком процессе начинает резко снижаться. В результате коррозии повреждается оборудование (котлы, трубопроводы и тд), а питательная вода насыщается продуктами коррозии конструкционных материалов. Замедлить скорость протекания коррозии возможно повышением показателя рН, путем амминирования. «Поэтому основная задача амминирования — это регулирование величины рН в соответствии с требованиями, диктуемыми конструкционными материалами пароводяного тракта. Связывание свободной

углекислоты аммиаком с повышением рН воды до 8,4 -8,5 протекает с образованием бикарбоната аммония по реакции» [1]:



При наличии избыточного аммиака показатель рН достигает значений 9 – 10, и происходит образование карбоната аммония по реакции:



«Попадая в котловую воду, эти соединения разлагаются с образованием NH_3 , CO_2 , H_2O . Аммиак и углекислота переходят из воды в пар и удаляются с ним из котла. В котловой воде остается порядка 10-15 % аммиака, часть – его удаляется с продувкой. В перегретом паре NH_3 и CO_2 существуют отдельно, а при конденсации пара взаимодействуют с образованием вновь карбоната аммония, повышая рН конденсата. Таким образом, достигается полное исключение или существенное снижение скорости углекислотной коррозии» [1].

«Гидразинная обработка теплоносителя энергетических установок является радикальной мерой предупреждения кислородной коррозии и коррозионного растрескивания металла котлов, паровых турбин, конденсаторов и оборудования водоконденсатного тракта, а также снижения содержания окислов железа, меди и других продуктов коррозии в конденсатах, питательной, котловой и реакторных водах и паре котлов» [23].

Кратко, проектный процесс приготовления питательной воды состоит из следующих стадий:

- а) удаление железа из турбинного конденсата, конденсата от МЭА-очистки и конденсата паровых рубашек на водород-катионитовых фильтрах;
- б) обессоливание смеси частично-обессоленной воды и конденсата на фильтрах смешанного действия;
- в) удаление кислорода из потока воды в термических деаэраторах;
- г) дополнительной обработки глубоко обессоленной воды путем амминирования и дозирования гидразин-гидрата;
- д) фосфатирование котловой воды в паросборнике котлов-утилизаторов и в барабане пускового котла.

Также на 10 блоке возникает необходимость в замене центробежных насосов поз. 26.1-26.2 и 22.1-22.2 в связи с тем, что существующие работают порядка 35 лет и при такой долгой эксплуатации с частой периодичностью, ввиду увеличивающейся нагрузки, выходят из строя его основные элементы: подшипники, начинающие шуметь и впоследствии вызывающие вибрацию и нагрев, и рабочие колеса, износ которых приводит к падению подачи и напора. Так как электродвигатели постоянно работают с мощностью выше номинальной, из-за увеличенной на них нагрузки, следствием является перегрев и выход из строя. Во избежание такого процесса с последующей остановкой работы установки получения глубоко-обессоленной воды, необходимо увеличить мощность электродвигателя и производительность насоса с учетом запаса для повышения стабильности и безотказности работы насосного оборудования, «более глубокого понимания эффективности и оптимизации» [69].

Выработка аммиака с первого пуска и по завершении 2020 года представлена на рисунке 13.



Рисунок 13 – Выработка аммиака с момента первого пуска агрегата с 1984 года по 2020 год

Автоматизация насосного оборудования позволит не только уменьшить потребление электроэнергии, но и повысить стабильность и безотказность работы насосного оборудования, что отразится на всей технологической цепочке получения глубоко-обессоленной воды, оставляя при этом возможность ручного управления.

Принцип действия насоса заключается в преобразовании механической энергии привода в гидравлическую энергию жидкости за счет гидродинамического воздействия лопастной системы рабочего колеса, подвода и отвода.

Насос, который сейчас установлен на технологической линии имеет марку D-500-65а с мощностью электродвигателя 135 кВт. В таблице 12 он представлен базовым вариантом. Насос 1D 500-63 – это проектный вариант с более мощным электродвигателем мощностью 160 кВт, на который необходимо заменить старый насос. В таблице 12 представлен их сравнительный анализ по главным характеристикам.

«Насос центробежный горизонтальный с двухсторонним подводом жидкости к рабочему колесу D-500-65а предназначен для перекачивания воды и жидкостей, имеющих сходные с водой свойства по вязкости и химической активности, температурой до +85°С с содержанием твердых включений, не превышающих по массе 0,05%, а размер их 0,2 мм» [62]. Техническая характеристика которого описана в таблице 11.

Таблица 11 – Техническая характеристика насоса D-500-65

Параметры	Норма
Подача, м ³ /ч	450
Напор, м	55
Коэффициент полезного действия, %	76
Частота вращения, об /мин	1470
Масса насоса (без рамы и электродвигателя), кг	530

Таблица 12 – Сравнительный анализ насосов, установленных на подаче глубоко-обессоленной воды на агрегат

Базовый вариант		Проектный вариант	
Марка насоса поз. 26.1 и 26.2	D-500-65а	Марка насоса поз. 26.1 и 26.2	1D 500-63
Производительность	450 м ³ /час	Производительность	500 м ³ /час
Напор	53 м.вод.ст.	Напор	63 м.вод.ст.
Электродвигатель насоса	АО-101-4М	Электродвигатель насоса	5АМ315S4еУ3
Мощность	135кВт	Мощность	160 кВт
Число оборотов	1470об./мин	Число оборотов	1500об./мин

Насос, который сейчас установлен на технологической линии получения глубоко-обессоленной воды, также имеет марку D-500-65а с мощностью электродвигателя 125 кВт. В таблице 13 он представлен базовым вариантом. Насос 1D 500-63 – это проектный вариант с более мощным электродвигателем мощностью 132 кВт, на который необходимо заменить старый насос.

Таблица 13 – Сравнительный анализ насосов, установленных на подаче частично-обессоленной воды на ФСД

Базовый вариант		Проектный вариант	
Марка насоса поз. 22.1 и 22.2	D-500-65а	Марка насоса поз. 22.1 и 22.2	1D 500-63
Производительность	450 м ³ /час	Производительность	500 м ³ /час
Напор	53 м.вод.ст.	Напор	63 м.вод.ст.
Электродвигатель насоса	АО-101-4М	Электродвигатель насоса	5АМ280М4еУ3
Мощность	125кВт	Мощность	132 кВт
Число оборотов	1470об./мин	Число оборотов	1485об./мин

Для повышения стабильности и безотказности работы насосного оборудования, которое отражается на всей технологической цепочке получения глубоко-обессоленной воды, предлагается четыре центробежных насоса марки D 500 – 65а заменить на насосы марки 1D 500-63.

Условное обозначение насоса (например, Д500-63, у ГОСТ 10272-87*): первая буква - тип насоса (центробежный двустороннего входа); первая цифра после буквы - подача, м³/ч; вторая цифра - напор, м; буква после цифр («а» или «б») - индекс варианта обточки рабочего колеса.

«Насос Д500-63 предназначен для перекачивания воды и жидкостей, имеющих сходные с водой свойства по вязкости и химической активности, с температурой до 358К (85°С), с содержанием твердых включений, не превышающих по массе 0,05% и максимальному размеру 0,2 мм» [25]. Его параметры представлены в таблице 14 и таблице 15. Общий вид с размерами габаритным и присоединительными на рисунке 14, а само устройство на рисунке 15.

Таблица 14 – Характеристика центробежного насоса

Техническая характеристика насоса	
Подача, м ³ /ч	450
Напор, м	63
Частота вращения (асинхронная), об/мин	1485
КПД насоса, %	80
Масса насоса (без рамы и электродвигателя), кг	450

Таблица 15 – Габаритные и присоединительные размеры

	Параметры							
	L	L1	l	l1	A	A1	B	B1
Габаритные размеры, мм	2470	1897	310	940	620	540	1040	638

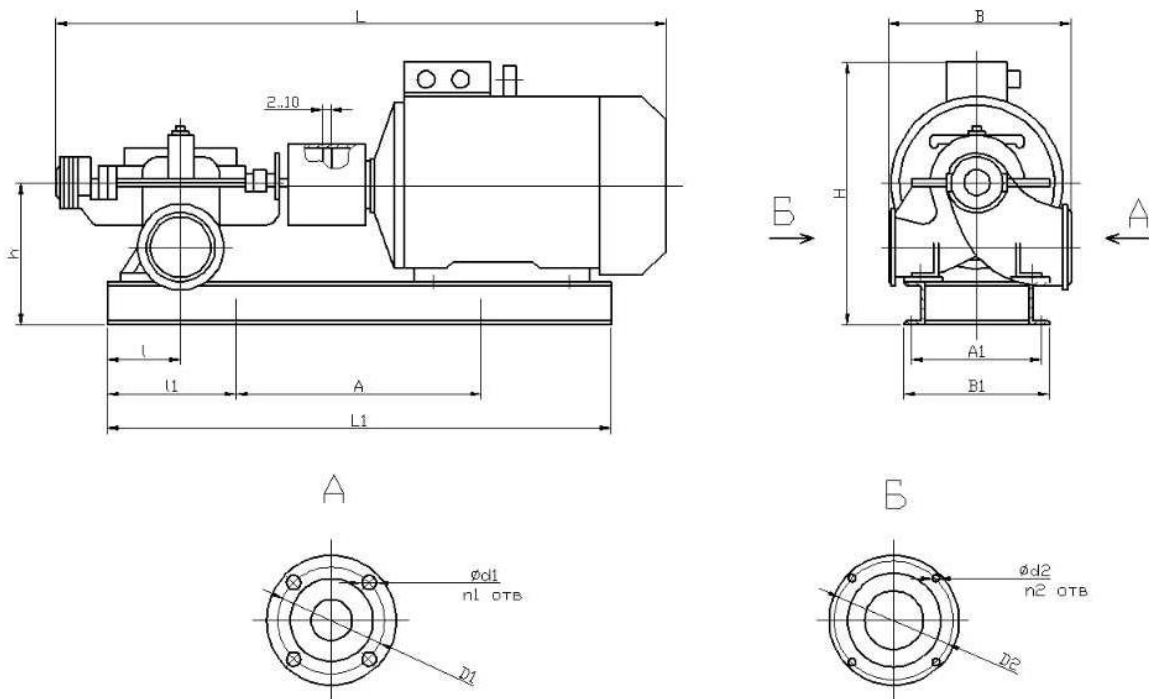
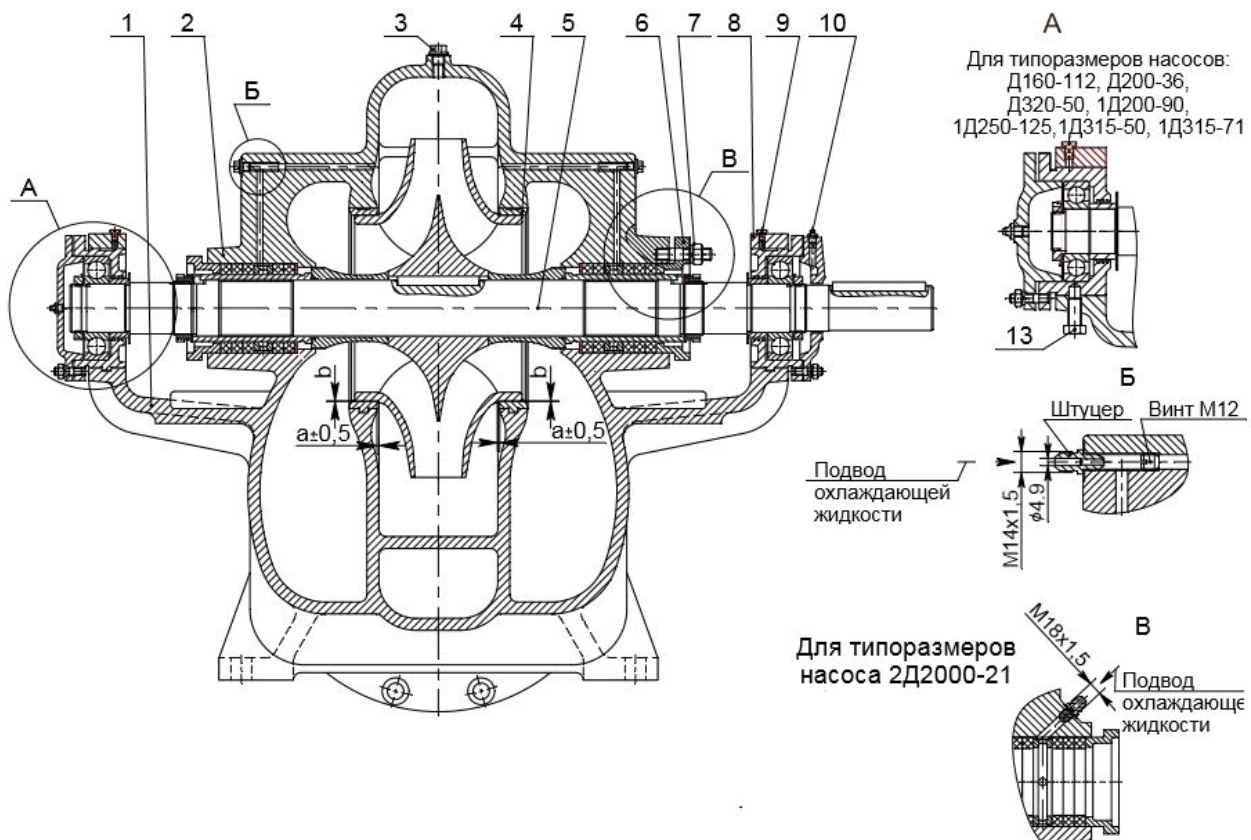


Рисунок 14 – Габаритные и присоединительные размеры



1 – корпус; 2 – крышка корпуса; 3 – пробка; 4 – уплотняющее кольцо; 5 – вал насоса; 6 – крышка сальника; 7 – гайка; 8 – скоба подшипникового узла; 9 – пробки отверстий для смазки подшипниковых узлов; 10 – крышка подшипника

Рисунок 15 – Устройство насоса 1D 500-63

«Насосный агрегат состоит из насоса и приводного двигателя, установленных на общей сварной фундаментной раме и соединенных между собой при помощи муфты.

Корпус насоса Д представляет собой чугунную или стальную отливку, которая имеет разъем в горизонтальной плоскости, проходящей через ось ротора» [24].

«Всасывающий и нагнетательный патрубки насоса расположены в нижней половине корпуса и направлены в разные стороны, благодаря чему возможна разборка и ремонт насоса без отсоединения трубопроводов и снятия электродвигателя» [40].

«Присоединительные размеры фланцев всасывающего и напорного патрубков выполнены по ГОСТ 12815-80 (исполнение 1). По требованию потребителя допускается для фланцев исполнение 3 ГОСТ 12815-80.

Рабочее колесо - двухстороннего входа, что позволяет в основном уравновесить осевые силы. Остаточные осевые силы воспринимаются радиальными или радиально-упорными шарикоподшипниками» [24].

Для предотвращения протечек жидкости по валу в корпусе насоса устанавливаются сальниковые или одинарные торцовые уплотнения.

«Отличительной особенностью насосов типа Д являются высокие значения КПД (73 - 88%), которые сохраняются в течение всего срока службы насоса, гарантийный ресурс 20 тыс.ч - без ремонта рабочих органов. Работают эти насосы плавно, без вибраций; они удобны и надежны в эксплуатации» [63].

Выводы по третьей главе

1) Выдвинуто предложение о замене катионита КУ-2-8 современной ионообменной смолой, которая позволит снизить расход используемых реагентов, ускорить процесс регенерации, снизить расход воды на промывку и соответственно уменьшить расход сточных вод.

2) Описан технологический процесс и приведена проектная схема получения глубоко-обессоленной воды на агрегате по производству аммиака.

3) Предложено использование фильтров смешенного действия в технологической цепочке для доведения воды до необходимых параметров.

4) Произведен расчет фильтра смешенного действия, в ходе которого определено количество необходимых фильтров и основные габаритные параметры, также определены количества необходимых едкого натра и серной кислоты для регенерирования.

5) Подобраны новые насосы на замену старым с увеличенной мощностью электродвигателя и производительностью, значения которых взято с запасом, ввиду увеличения требуемой выработки аммиака на агрегате.

Заключение

В ходе магистерской диссертации была достигнута поставленная цель, а именно предложена оптимизация процесса получения глубоко-обессоленной воды путем использования современных ионообменных смол, установкой новых насосов и использования в технологической схеме фильтров смешенного действия.

Выполнен литературный обзор, в результате которого подобран наиболее подходящий метод обессоливания для промышленного предприятия.

Рассмотрены и приведены основные требования, предъявляемые к воде, используемой для производственных целей и описано ее влияние на технологическое оборудование.

Проанализирована действующая технология водоподготовки на ПАО «ТОАЗ», в результате чего предложена замена используемому катиониту КУ 2-8 современной ионообменной смолой Lewatit MonoPlus S 108 Н с приведением плюсов таких изменений, как увеличенный основной параметр ионита ПСОЕ (полная статическая обменная емкость), который обеспечивает высокую рабочую емкость смолы. Одной из ключевых особенностей, отличающих предложенный новый ионит от тех, что присутствует на рынке ионитов сейчас, является минимальное выделение сульфатов и высокая устойчивость к окислителям. Высокие скорости в циклах потока нагрузки и регенерации позволят ускорить процесс получения обессоленной воды.

Осуществлён подбор и расчет предложенного для глубокого обессоливания фильтра смешенного действия, в результате получены габаритные параметры фильтра, найдены объемы и расходы воды каждого этапа, а также суммарное время регенерации. В качестве катионита применена смола Lewatit MonoPlus S 108 Н, в качестве анионита Lewatit MonoPlus М 500. Разделение и регенерация являются наиболее ответственными операциями при эксплуатации, и благодаря высокому

коэффициенту однородности используемых смол (не более 1,05) и оптимальному отличию катионита Lewatit MonoPlus S 108 Н от анионита Lewatit MonoPlus М 500 по плотности и цвету являются определяющими для достижения идеального разделения и высокой эффективности регенерации.

Предложена замена старым насосам на марку 1D 500-63 с увеличенной производительностью и мощностью электродвигателя, что повысит стабильность и безотказность работы насосного оборудования, отражающегося на всей технологической цепочке.

Список используемых источников

1. Амнирование питательной воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tesiaes.ru/?p=10495>
2. Беликов С.Е. Водоподготовка: Справочник. /Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
3. Буторова А.С. Совершенствование технологии получения обессоленной воды путем замены катионита КУ-2-8 в фильтрах смешенного действия на современные аналоги // Сборник статей XXII Международной научно-практической конференции «Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии»: /МНИЦ ПГАУ. – Пенза: РИО ПГАУ, 2021 г. – С. 22-25.
4. Вода в химической промышленности [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://works.doklad.ru/view/gTTgxq9UinI.html>
5. Вода в химической промышленности [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mirznanii.com/a/325778/voda-v-khimicheskoypromyshlennosti>
6. Водоподготовительная установка для очистки воды ФСД с внутренней регенерацией [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vuzlit.ru/716943/raschet_vnutrenney_regeneratsiey_proizvoditelnostyu
7. Водоподготовка в энергетике [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков —М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — Загл. с тит. экрана.
8. Гидразин Гидрат (Hydrazine Hydrate) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://him-kazan.ru/katalog/materialy-dlya-vodopodgotovki/gidrazin-gidrat/gidrazin-gidrat-64>
9. Иванов В.Г. Водоснабжение промышленных предприятий. – СанктПетербург, 2003. – 537 с
10. Известкование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/4085331/page:4/>

11. Инструкция по деминерализованной воде для оператора агрегата получения аммиака. - ОАО «Тольяттиазот», 2012.
12. Инструкция ХВ-11: Аппаратчику установки получения осветленной воды (корпус 188). - ОАО «Тольяттиазот», 2012. - 90 л.
13. Инструкция ХВ-13: Аппаратчику установки получения обессоленной воды (корпус 188). - ОАО «Тольяттиазот», 2009. - 112 л.
14. Информация о продукте LEWATIT® MonoPlus S 108 H [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://eav.su/upload/docs/PDS-LEWATITo-MonoPlus-S-108-H-RUS.pdf>
15. Ионообменная смола катионит Lewatit MonoPlus S108H [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ecvols.ru/kottedji/filtratsionnye_sredy_ochistki_vody_i_reagenty/smola_ionoobmennaya_lewatit_monoplus_s108h/
16. Ионообменная смола катионит КУ-2-8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ecvols.ru/kottedji/filtratsionnye_sredy_ochistki_vody_i_reagenty/kationit_ku_2_8_vysshiy_sort_natrievyy_mesh_20kg_25l/
17. Катионит [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://smoly.ru/kata_ionit.html
18. Катионит КУ-2-8 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://waterhim.ru/water-material/161-ku-2-8>
19. Катионит КУ-2-8 эффективный материал для очистки воды [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pcgroup.ru/blog/kationit-ku-2-8-effektivnyj-i-praktichnyj-material-dlya-ochistki-vody/>
20. Кожин В.Ф. Очистка питьевой и технической воды. Примеры и расчеты: Учеб. пособие для вузов. - 4 изд., репринтное. – М.: ООО «БАСТЕТ», 2008. – 304 с. 6 ил.
21. Леватит MonoPlus M 500 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ecovita.ru/catalog/komplektuyushchie-dlya-ochistki-vody/filtruyushchie-materialy-i-zagruzki/ionoobmennye-smoly/lewatit-monoplus-m-500.html>

22. Леватит Monoplus M 500 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://updizh.ru/lewatit/LEWATIT_M500.pdf
23. Методические указания по применению гидразина на энергетических установках тепловых электростанций / ПМБ ВТИ; -Инв. №132.-М.,1994.- 4с <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294817/4294817952.htm>
- 24 Назначение, конструкция и рабочие характеристики насосов типа "НДс,ндв". Ооо "ПромТехКомплект" официальный дилер ОАО «гмс-насосы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mognovse.ru/>
25. Насос 1Д 500-63 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.a-a-a.ru/nasos/1d500_63.html
26. Насос Д500-65 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nasos.info/catalog.php?mode=view&id=3601>
27. Насосы типа Д, 1Д, 2Д [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rosdiler-electro.ru/katalog/nas_d.html
28. НОРМАТИВЫ КАЧЕСТВА ВОДЫ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wwtec.ru/>
29. Обессоливание воды [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.edentalsystem.com>
30. Обессоливание воды ионным обменом [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://poznayka.org/s2665t2.html>
31. Обессоливание воды: методы и установки [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://fb.ru/article/296760/obessolivanie-vodyi-metodyi-i-ustanovki>
32. Обессоливание воды: методы и установки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Обессоливание воды: методы и установки (fb.ru)
33. Общая химическая технология [Электронный ресурс] – Режим доступа:http://bookwu.net/book_obshhaya-himicheskaya-tehnologiya_1143/12_11.2-istochniki-vodosnabzheniya-himicheskikh-proizvodstv
34. Питиевая вода [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Питиевая_вода

35. Показатели качества воды [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://xn--80a2agee.xn--p1ai/news/2013-10-04/pokazateli-kachestva-vody>

36. Применение инновационных энергоэффективных технологий получения дистиллированной воды на предприятиях малого и среднего бизнеса [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2013/article/2013003348>

37. Промышленные установки обратного осмоса [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://diesel.ru/promyshlennaya-ustanovka-obratnogo-osmosa/>

38. Реагентные методы умягчения воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lektsia.com/3x4e36.html>

39. Регламент ОАО «ТольяттиАзот» цеха №12 ХВО

40. РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСЫ ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ ДВУСТОРОННЕГО ВХОДА ТИПА ЦН И АГРЕГАТЫ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫЕ НА ИХ ОСНОВЕ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://konsolnik.com.ua/wp-content/uploads/2019/11/pasport-nasosa-tsn-400-105.pdf>

41. РД24.031.120-91 Нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов, организация водно-химического режима и химического контроля, методические указания. – М.: НПО ЦКТИ, 1991 г.

42. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования / Очистка воды ионным обменом. Основные характеристики ионитов / Б.Е. Рябчиков. М.: ДеЛипринт, 2004.

43. СанПиН 2.1.4.1074-01 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901798042>

44. СанПиН 2.1.4.1116-02 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901816045>

45. Современные системы водоподготовки для медицины и фармпроизводств [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.medfilter.ru/r6_52.html

46. Современные технологии подготовки воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.swtsamara.ru/pages/1sovremennye_tehnol
47. Технико-экономическое исследование процесса очистки воды методом обратного осмоса [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2002/feht/pol/diss/index.htm>
48. Техническая вода [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/t/texnicheskaya-voda>
49. Технологии очистки вод с повышенным содержанием [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://gsp-bmt.ru/services/1/14.html>
50. Технологическая схема осветления речной воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studwood.ru/1599742/tovarovedenie/tehnologicheskaya_shema_osvetleniya_rechnoy_vody#11
51. Тольяттиазот [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Тольяттиазот>
52. Тольяттиазот о компании [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.toaz.ru/about-company>
53. Тольяттиазот продукция [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.toaz.ru/production>
54. Умягчение воды [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.lib.unn.ru/students/src/Klapshin.pdf>
55. Умягчение воды ионообменным и барометрическим методами [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.unn.ru/books/met_files/Klapshin.pdf
56. Умягчение воды ионообменным и барометрическим методами [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://eb.arsu.kz:81/pdf/foreign/ЕККТJ1_17.pdf
57. Установки обессоливания воды [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://diasel.ru/article/ustanovki-obessolivaniya-vody/>
58. Фильтр ионитный с внутренней регенерацией ионитов ФИСДВР (ФСДВР) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://blog.zavod->

uzsk.ru/produkcija/vodopodgotovitelnoe-oborudovanie/filtry-smeshannogo-dejstviya-fisd-fsd/filtr-ionitnyj-s-vnutrennej-regeneraciej-ionitov-fisdvr-fsdvr/filtr-fisdvr-14-06-s-vnutrennej-regeneraciej/

59. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка: Учебн. Пособие для вузов. М. Изд-во МГУ, 1996-680с.

60. Ходаков Ю.В. § 15. Иониты // Неорганическая химия. / Д.А. Эпштейн, П.А. Глориозов — 7-е изд. — М.: Просвещение, 1976.

61. Хорякова Е.А., Резник Я.Е. Водоподготовка: Справочник / Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова – М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.

62. Центробежные насосы двустороннего входа типа д [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nektonnasos.ru/article/types/centrobezhnyj/nasos-tipa-d/>

63. Центробежные насосы двустороннего входа типа Д, 1Д, 2Д [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://nasos2004.ru/?page_id=551

64. Чернов Н.С. Пути снижения экологической безопасности при транспортировании и хранении жидких материалов. Журнал «Экология и промышленность России», сентябрь, 2016.

65. Электрогидромаш 1Д 500-63 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nasos-egm.ru/catalog/nasosnoe_oborudovanie/marka_nasosa/1d/

66. ISO 6107-2:2006 «Water quality». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:6107:-2:ed-4:v1:ru>

67. Gebbie, P. An Operator's Guide To Water Treatment Coagulants, 31st Annual Qld Water Industry Workshop // Operations Skills University Central Queensland.- 2006.

68. Patel J. ION EXCHANGE RESINS // Cation Resin Mfg.-2016. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/305658612_ION_EXCHANGE_RESIS

69. Radosavlevici I., Robescu D.N.: Demineralization of water with mixed-layer ion-exchangers // Environmental Engineering and Management Journal.-

2013. [Электронный ресурс]. – Режим
доступа:[https://www.researchgate.net/publication/287786916_Demineralization_o
f_water_with_mixed-layer_ion-exchangers](https://www.researchgate.net/publication/287786916_Demineralization_of_water_with_mixed-layer_ion-exchangers)

70. Shamir, U., Howard, C. Engineering Analysis of Water-Distribution Systems // Journal of the American Water Works Association.- 1977.

71. Walski, T.M., Chase, D.V., Savic, D.A., Grayman, W., Beckwith, S., Koelle, E. Advanced Water Distribution Modeling and Management // Bentley Systems.- 2007.