

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи
УДК 628.165(043.3)

Жуковский Владислав Владимирович

Особенности обессоливания воды методом обратного осмоса

Диссертация на соискание ученой степени магистра технических наук
по специальности 70 80 01 Строительство

Научный руководитель
кандидат технических наук
Ющенко В.Д.

г. Новополоцк, 2020

СОЖЕРЖАНИЕ

Принятые сокращения и обозначения.....	3
Введение.....	5
Общая характеристика работы.....	7
Глава 1. Аналитический обзор по традиционным методам обессоливания воды.....	9
1.1 Общие сведения.....	9
1.2 Методы обессоливания воды, используемые в водоподготовке ТЭЦ...	10
1.3 Выводы	15
Глава 2 Технологические аспекты использования мембранного фильтрования.....	17
2.1. Классификация методов мембранного фильтрования.....	17
2.2. Физико-химические основы обратного осмоса.....	18
2.3 Типы и конструкции мембран обратного осмоса	20
2.4. Основные характеристики работы мембран.....	24
Глава 3. Система предочистки и очистки ТЭЦ.....	30
3.1 Общая характеристика системы водоснабжения ТЭЦ.....	30
3.2 Краткая характеристика блоков предочистки и очистки на ТЭЦ.....	31
Глава 4. Оценка эффективности работы мембран в блоках обратного осмоса.....	38
4.1. Методика проведения исследований	38
4.2 Экспериментальная установка обратного осмоса.....	41
4.3 Экспериментальные исследования работы мембран.....	42
4.4 Особенности пуско-наладочных работ производственной установки мембранного осмоса.....	47
4.5 Выводы.....	53
Список литературы.....	56
Приложение.....	60

Принятые сокращения и обозначения

ТЭЦ	терлоэлектроцентраль
ГВС	горячее водоснабжение
РТС	районные тепловые сети
рН	водородный показатель среды, в соответствии с РД 52-24-495-2005 представляет собой взятый с обратным знаком десятичный логарифм концентрации водородных ионов в воде $pH = -\lg[H^+]$
СПАВ	синтетические поверхностно-активные вещества
БПК	биохимическое потребление кислорода
ХПК	химическое потребление кислорода
НЭ	нормальная эксплуатация
ННЭ	нарушение нормальной эксплуатации
ЧОВ	частично обессоленная вода
ОМЧ	общее микробное число
ПНР	пусконаладочные работы
УОО1,2	установка обратного осмоса 1-я ступень, 2-ступень
ВПУ	водоподготовительная установка

Водоснабжение – технологический процесс, обеспечивающий забор, подготовку, транспортировку и передачу абонентам питьевой воды.

Водовод – водопроводящее сооружение, сооружение для пропуска (подачи) воды к месту потребления.

Подпиточная вода - вода, подаваемая в водяную тепловую сеть для восполнения потерь.

Оборотная вода – техническая вода, многократно используемая в технологических процессах.

Умягченная вода – это вода с низкой концентрацией солей жесткости.

Жесткость воды – совокупность химических и физических свойств воды, связанных с содержанием в ней растворенных солей щелочноземельных металлов, главным образом, кальция и магния.

Щелочность воды – это общее содержание в воде веществ, обуславливающих при диссоциации или в результате гидролиза повышенную концентрацию ионов OH^- .

Прозрачность воды – это отношение интенсивности света, прошедшего через слой воды, к интенсивности света, входящего в воду, косвенно обозначающая количество взвешенных частиц и коллоидов в воде.

Окисляемость воды – количество кислорода, необходимое для окисления органических веществ, находящихся в воде.

Общее микробное число – это общее количество микроорганизмов в единице объема или массы исследуемого объекта.

Электропроводность воды – способность воды проводить электрический заряд, электропроводимость воды зависит от ее температуры, характера ионов и их концентрации.

Сухой остаток – это суммарное количество нелетучих веществ, присутствующих в воде в коллоидном и молекулярно- дисперсном состоянии, выраженное в мг/кг.

Предподготовка – первоначальный этап в очистке воды, предшествующий обратному осмосу, обычно включает в себя механическую очистку воды.

Концентрат – вода с повышенным содержанием в ней примесей.

Пермеат – вода с сниженным содержанием в ней примесей (обратно концентрату).

Адсорбция – самопроизвольный процесс увеличения концентрации растворенного вещества у поверхности раздела двух фаз, вследствие нескомпенсированности сил межмолекулярного взаимодействия на разделе фаз.

Введение

Полоцкий промышленный узел является одним из крупных производственных комплексов в Республике Беларусь, в состав которого входят градообразующие предприятия, такие как нефтеперерабатывающий завод «Нафтан», нефтехимический завод «Полимир», завод «Стекловолокно», а также Новополоцкая ТЭЦ.

Системы промышленного водоснабжения предназначены обеспечивать подачу воды на производство требуемого и соответствующего качества. Они состоят из комплекса взаимосвязанных сооружений, водозаборных устройств, насосных станций, водоводов, установки очистки и улучшения подпиточной и оборотной воды, регулирующих и запасных емкостей, охладителей воды и разводящей сети трубопроводов. В зависимости от назначения и местных условий некоторые из перечисленных сооружений в системе могут отсутствовать.

Вода в промышленности используется как сырье при получении различных продуктов, таких как кислоты, спирты и т. д.; в качестве разбавителя и растворителя используется при выщелачивании и кристаллизации. Вода является теплоносителем или охладителем в различных технологических процессах; служит рабочей средой в гидравлических устройствах; является моющим средством при промывке сырья, тары, готовых изделий. Расход воды для промышленного предприятия определяют в зависимости от удельного расходования воды (на единицу промышленной продукции) и мощности предприятия. Удельное водопотребление в значительной мере зависит от технологической схемы производства, системы промышленного водоснабжения, климатических условий и ряда других факторов.

Все данные предприятия используют воду, не только очищенную от взвешенных веществ и микроэлементов, но и в высокой степени обессоленную.

Чаще всего обессоленная вода применяется для получения насыщенного перегретого пара в котлах высокого давления при дальнейшем его направлении для технологических процессах ряда производств, а также в системах отопления и ГВС.

Такого качества воду традиционно получают с помощью водород-натрий-катионированием и последующим анионированием на фильтрах.

Использование ионообменных фильтров имеет существенный недостаток: регенерация ионообменного материала производится кислотными и щелочными растворами, которые впоследствии должны быть утилизированы. Часто это является серьезной экологической проблемой.

В настоящее время стали широко применять мембранные метода обессоливания воды. По сравнению с традиционными методами они имеют технологические и экономические преимущества и экологическую безопасность.

На сегодняшний день водоподготовка в энергетике остается важным вопросом отрасли. Вода является главным источником на ТЭС, включая ТЭЦ, к которому предъявлены повышенные требования. Наша страна расположена в холодной климатической зоне, зимой случаются сильные морозы. Поэтому ТЭС являются неотъемлемой частью комфортной жизни людей. ТЭЦ, паровые и газовые котельные страдают от жесткой воды, выводящей из строя дорогостоящее оборудование.

Так, интерес к использованию обратного осмоса при подготовке обессоленной воды для паровых котлов вызван тем, что его внедрение позволяет значительно (на 90 %) сократить количество потребляемых реагентов (кислот, щелочей, хлорида натрия) и одновременно избавиться от проблем, связанных с утилизацией сточных вод с высоким содержанием химических веществ.

Помимо ионов солей, современные обратноосмотические мембраны задерживают силикаты и молекулы органических веществ, что делает обратный осмос чрезвычайно перспективным для энергетики. Кроме систем глубокого обессоливания воды, установки обратного осмоса успешно применяются для подготовки подпиточной воды паровых котлов. Благодаря невысокой стоимости, компактности, простоте обслуживания, полной автоматизации обратноосмотические системы оказываются оптимальным вариантом для подготовки воды автономных котельных и районных тепловых станций (РТС).

Кроме того, в настоящее время происходит модернизация конструкций паровых котлов. Повышаются технические показатели, что вызывает рост требований к качеству питательной воды. Так, котел БЭМ 25/4 – 440 ГМ производства ОАО «Белэнергомаш» требует, кроме уменьшения жесткости, понижения общей минерализации питательной воды. В этих случаях обратноосмотические мембранные установки для деминерализации, пожалуй, единственная подходящая технология.

В данной работе рассмотрена работа блока обратного осмоса при подготовке воды для паровых установок ТЭЦ, в условиях получения пересыщенного пара большого давления.

Общая характеристика работы

Улучшение обеспечения потребителей водой высокого качества и рациональное использование водных ресурсов - приоритетные задачи в области промышленного водоснабжения. Для решения этих задач необходима разработка и реализация мер, обеспечивающих повышение эффективности и надежности работы систем водоснабжения, совершенствование систем спецводоподготовки, развитие нормативно-правовой базы, стимулирующей экономию воды.

В настоящее время в Институте физико-органической химии НАН РБ создаются высокоэффективные полимерные мембраны и ряд промышленных аппаратов на их основе для фильтрации воды для медицины, биотехнологии, фармацевтической и пищевой промышленности, энергетике. Установки мембранного разделения внедрены в промышленных масштабах более чем на 30 предприятиях Беларуси и стран СНГ.

Введенный в действие ТКП 17.02-13/1-2015(33140) «Охрана окружающей среды и природопользование», а также требования по показателям качества питательной воды, применимые для котлов высокого давления, содержат ряд нормативов, которые ужесточают требования к степени очистки питательной воды. Обеспечение этих требований, требует внедрения модернизированных методов физико-химической очистки воды.

Традиционная очистка на ионообменных фильтрах имеет существенные недостатки, поэтому в настоящее время стали широко применять мембранные методы обессоливания воды. По сравнению с традиционными методами они имеют технологические и экономические преимущества и экологическую безопасность. Разработка методов для глубокого обессоливания воды мембранным методом обуславливает актуальность и важность данной работы.

В качестве **объекта исследования** принята технология спецводоочистки природных вод методом обратного осмоса.

Предмет исследования – мембрана обратного осмоса.

Цель исследований. Цель выполненной диссертационной работы – предложить эффективную технологическую схему водоподготовки питательной воды методом обратного осмоса для котлов высокого давления, а также подобрать наиболее подходящие мембраны обратного осмоса.

В соответствии с поставленной целью решались следующие **задачи**:

- Анализ методов получения обессоленной воды, т.ч. их применение на существующих водоподготовительных сооружениях промышленных предприятий Республики Беларусь.

- Оценка качественного и количественного состава питательной воды.

- Проведение экспериментальных исследований по обессоливанию воды методом обратного осмоса.

- Исследовать процессы очистки воды на обратноосмотических мембранах разных производителей, выявить основные закономерности работы блока, время работы блока до проведения промывок, технологию проведения химической промывки блока, подбор реагентов.

- Разработать и создать технологическую схему очистки воды методом обратного осмоса.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие основные положения диссертационной работы:

1. Качественный и количественный состав питательной воды.
2. Усовершенствования технологического процесса очистки питательной воды. Исследования технологического процесса очистки воды методом обратного осмоса, сравнение данного метода с ионным обменом.
3. Анализ работы мембран различных производителей при очистке питательной воды.
4. Исследование по водной и химической промывке обратноосмотических мембран.

Личный вклад соискателя. Диссертантом обоснованы научно-логистические направления исследования, поставлены цели, определены задачи методы проведения исследований, разработаны экспериментальные установки, произведена обработка экспериментальных данных и их анализ. По результатам теоретических и экспериментальных исследований получена технологическая схема обратного осмоса и подобраны мембраны. Проведены производственные испытания и предложены способы эффективной очистки мембран обратного осмоса водной промывкой и химическими реагентами.

Апробация результатов диссертации.

Результаты работы были представлены на международной научной конференции «Архитектурно-строительный комплекс: проблема, перспективы, инновации», проходившая в Полоцком государственном университете (28-29 ноября 2019 г.)

Практическая значимость данной магистерской диссертации заключается в том, проведенные исследования с применением очистки воды методом обратного осмоса для получения ультрачистой, обессоленной воды, могут быть использованы для внедрения в промышленный узел города Полоцка/Новополоцка, в частности на районных ТЭЦ

Структура и объём диссертации. Диссертация содержит 62 страницы машинописного текста, 10 таблиц на 14 страницах, 30 рисунков на 24 страницах и состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка (45 источников) и 3 приложений на 3 страницах.

Глава 1. Аналитический обзор по традиционным методам обессоливания воды

1.1 Общие сведения

Главным источником воды в промышленности служат природные пресные воды.

По происхождению они подразделяются на поверхностные (реки, озера), атмосферные (атмосферные осадки) и подземные (ключевые, артезианские, минеральные).

Требования к составу воды существенно зависят от назначения. Основными показателями качества воды являются жесткость, общее солесодержание, прозрачность, окисляемость, вкус, запах, реакция среды. К воде, употребляемой в технике и быту, предъявляются определенные требования в отношении состава и свойств.

Удаление из воды солей кальция и магния называется умягчением, а всех солей (всех катионов и анионов) — обессоливанием.

Для большинства производств основным качественным показателем служит катионный и анионный состав воды, прежде всего — ее жесткость, обусловленная присутствием в воде солей кальция и магния. Часто в воде нормируется концентрация химических веществ (мг/дм^3), влияющих на органолептические, коррозионные и противонакипные свойства воды: содержание железа, марганца, меди, сульфатов, хлоридов, цинка и т.д.

Различают три вида жесткости воды: временную, постоянную и общую. Временная (устраняемая жесткость) обусловлена наличием в воде гидрокарбонатов кальция и магния. Эти соли сравнительно легко удаляются при кипячении. Постоянная жесткость обусловлена присутствием в воде сульфатов, хлоридов и нитратов кальция и магния, которые при кипячении не удаляются. Временная и постоянная жесткость в сумме дают общую жесткость.

Промышленная водоподготовка представляет собой комплекс мероприятий и технологических процессов получения воды требуемого качества. Это: 1) обеззараживание воды — обязательный процесс очистки с целью уничтожения болезнетворных микроорганизмов, окисления органических примесей; 2) отстаивание — удаление из воды грубодисперсные взвешенные примеси, оседающие на дно непрерывно действующих отстойных бетонированных резервуаров; 3) фильтрование — важный метод очистки воды, для этого применяются фильтры с зернистым фильтрующим слоем; 4) умягчение и обессоливание — основные процессы водоподготовки.; 5) дегазация воды — удаление из нее растворимых газов — проводится химическими и физическими способами.

Необходимым условием повышения эффективности очистки природных вод является правильный научно обоснованный выбор в каждом конкретном случае наиболее рациональных методов очистки.

Способы очистки и обезвреживания воды подразделяются на:

1) физические, к которым относится фильтрование (задержка нерастворимых твердых частиц порами фильтрующего материала) и отстаивание (осаждение посторонних фракций под действием собственного веса); 2) химические, к которым можно отнести окисление, восстановление и нейтрализация (данный способ основывается на взаимодействии определенных химических веществ, называемых реагентами, с загрязнителем, превращая его в другое безопасное вещество, либо разлагая его на другое безопасное вещество); 3) биологические, к которым относятся биологические пруды, поля фильтрации, биофильтры (биологический способ очистки воды основан на использовании живых организмов); 4) физико-химические, к которым относится сорбция (процесс поглощения вещества из окружающей среды твердым телом или жидкостью), экстракция (распределение загрязняющего вещества в смеси двух взаимонерастворимых жидкостей), ионный обмен (процесс обмена между теми ионами, которые находятся в растворе, и ионами, находящимися на поверхностях твердой фазы материалов (ионитов)), термический метод (процесс разделения воды и загрязняющих веществ выпариванием воды и дальнейшим ее конденсированием), мембранный метод (мембранный метод основан на пропускании загрязненного раствора через полупроницаемую перегородку с отверстиями меньшими, чем размер частиц загрязнений), мембранные процессы включают в себя: макрофильтрацию, микрофильтрацию, ультрафильтрацию, нанофильтрацию, обратный осмос.

1.2 Методы обессоливания воды, используемые в водоподготовке ТЭЦ

На электростанциях предварительную очистку воды применяют для подготовки добавочной воды котлов высокого и сверхвысокого давления перед химическим обессоливанием, котлов среднего давления и испарителей.

Предварительная очистка воды, состоящая в удалении грубодисперсных и коллоидных примесей, необходима для повышения надёжности и экономичности работы ионитной или обратноосмотической части ВПУ. Присутствие органических загрязнений в воде приводит к преждевременному «старению» анионитов, что ведет к уменьшению глубины очистки и увеличению расхода реагентов на регенерацию анионита.

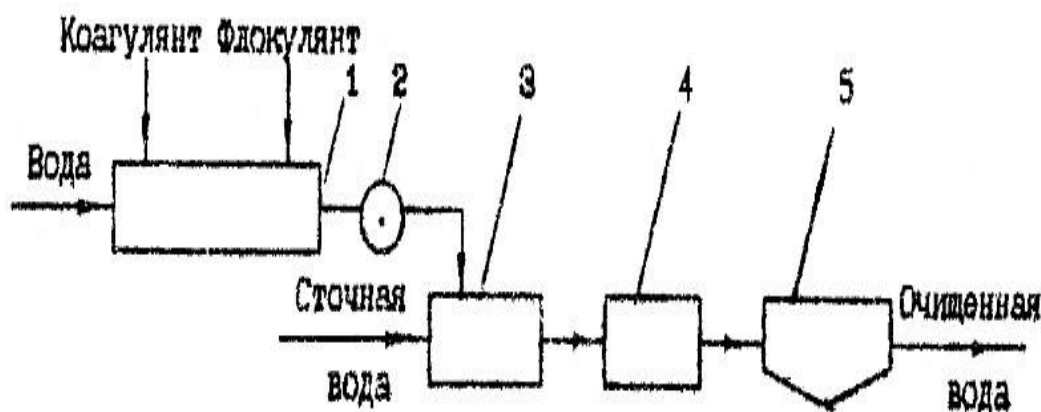
В схемах очистки обычно совмещаются несколько технологических процессов:

- коагулирование и осветление;
- коагулирование, известкование и осветление;
- коагулирование, известкование, содовая обработка и осветление.

Целесообразность этого совмещения определяется не только экономичностью аппаратов, но и взаимным положительным влиянием процессов очистки, проводимых в одном технологическом процессе.

Коагулирование воды. Обработка воды коагулированием - добавление в воду раствора солей Fe и Al, или их смеси. Коагулирование - это процесс укрупнения коллоидных частиц за счет их слипания под

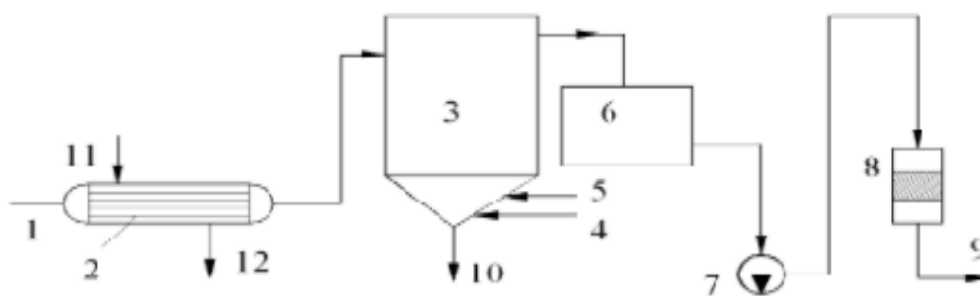
влиянием молекулярных сил притяжения. Наиболее часто применяемые коагулянты: 1) сульфат алюминия (очищенный) - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$; 2) алюминат натрия - NaAlO_2 ; 3) полихлорид алюминия - $\text{Al}_2(\text{OH})_n \cdot \text{Cl}_{6-n}$; 4) квасцы алюмокалиевые - $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$; 5) хлорное железо - $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 6) железный купорос - $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и т.д. На рисунке 1.1 представлена схема очистки воды методом коагулированием.



- 1- емкость для приготовления раствора, 2 - дозатор, 3 – смеситель, 4 – камера хлопьеобразования, 5 – отстойник.

Рисунок 1.1 Схема коагулирования

Известкование воды. Основное назначение известкования воды - это снижение щелочности (декарбонизация) исходной воды, при этом происходит соответствующее снижение жесткости и уменьшение количеств; сухого остатка. Одновременно из воды удаляются естественные механические примеси, органические загрязнения и соединения железа. На рисунке 1.2 представлена схема очистки воды методом известкование.



- 1 – исходная вода, 2 – теплообменный подогреватель, 3 – осветлитель, 4 – ввод извести, 5 – ввод коагулянта, 6 – бак осветленной воды, 7 – перекачивающий насос, 8 – осветлительный фильтр, 9 – на ионитные фильтры или потребление, 10 – сброс осадка с продувочной водой, 11 – греющий пар, 12 – конденсат греющего пара.

Рисунок 1.2 Схема процесса известкования и коагулирования

Осветление воды фильтрованием. Для полного удаления из воды грубодисперсных частиц, хлопьев коагулянта и скоагулированных коллоидных частиц применяется фильтрование, т.е. пропуск воды через слой зернистого или пористого материала в осветлительных фильтрах. При фильтровании воды твердые частицы задерживаются на поверхности или в толщине фильтрующего материала. Процесс фильтрации имеет физико-химическую природу.

Осветление воды при фильтрации объясняется прилипанием взвешенных частиц к зёрнам фильтрующего материала и к ранее прилипшим частицам под действием молекулярных сил притяжения. Причем устойчивость и притяжение мелких частиц к крупным значительно больше, чем интенсивность взаимного прилипания мелких частиц, т.к. вероятность попадания мелких частиц в сферу притяжения крупных больше, чем вероятность столкновения мелких. Явление прилипания мельчайших частиц, содержащихся в воде, к поверхности зерен фильтрующего материала называется контактной коагуляцией. На рисунке 1.3 представлена схема очистки воды на механическом фильтре.

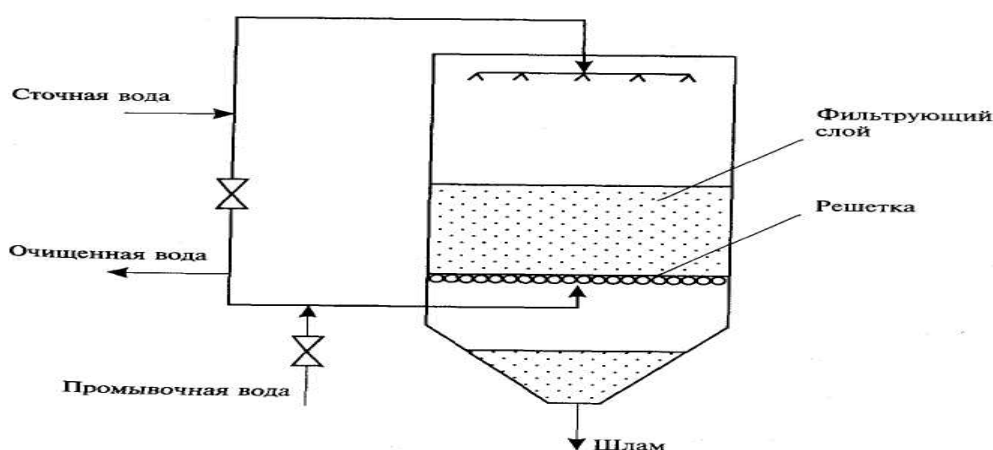


Рисунок 1.3 Очистка воды на механическом фильтре

Обработка воды методами ионного обмена. Высокая степень обессоливания природных вод достигается с применением ионитов, т.е. нерастворимых высокомолекулярных веществ, которые благодаря наличию в них иогенных групп способны к реакциям ионного обмена.

Ионообменными свойствами обладают многие соединения самой различной природы. Иониты обладают способностью удерживать на своей поверхности различные ионы и при определенных условиях обменивать их на другие, находящиеся в растворе, контактирующем с ионитами. Способные к обмену катионов иониты называются катиониты, способные к обмену анионов - аниониты.

Характеристикой ионообменной способности ионита является величина его рабочей обменной емкости, которая характеризуется количеством ионов, поглощенных ионитом, при пропускании раствора солей или кислот

определенной концентрации через лабораторный или промышленный фильтр, загруженный испытуемым ионитом, до начала «проскока» в фильтрат поглощаемых ионов. На рисунке 1.4 (а) представлена схема ионного обмена, на рисунке 1.4 (б) представлена схема работы ионообменных фильтров.

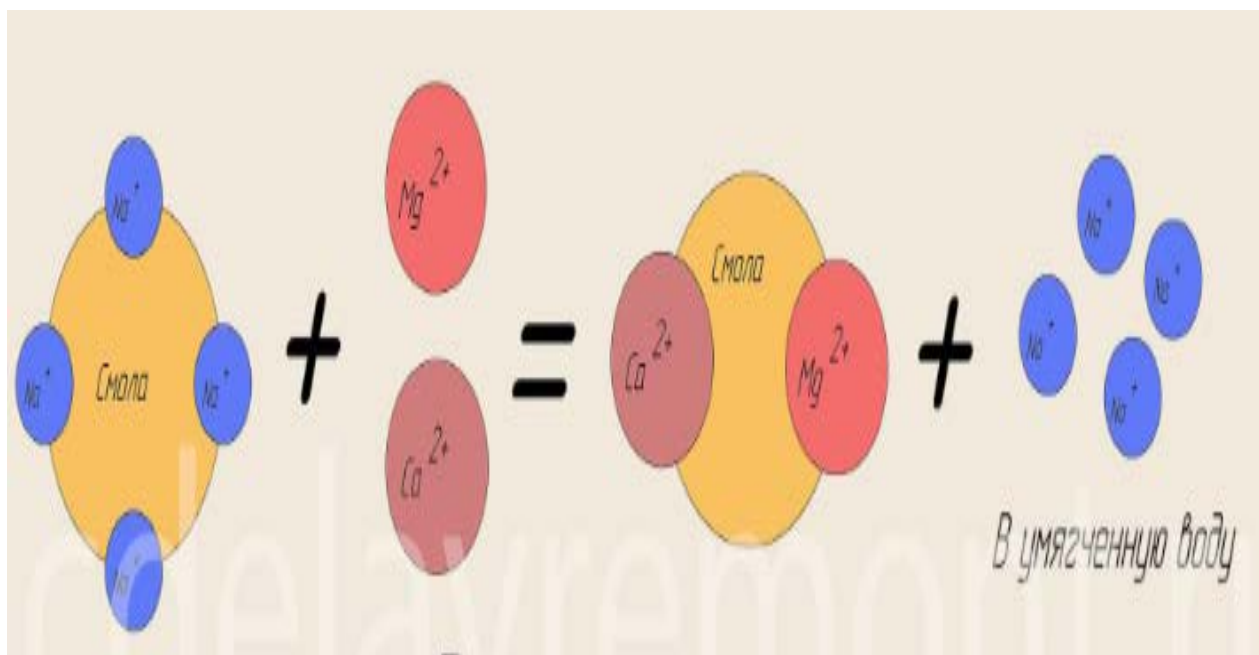


Рисунок 1.4 (а) Схема ионного обмена

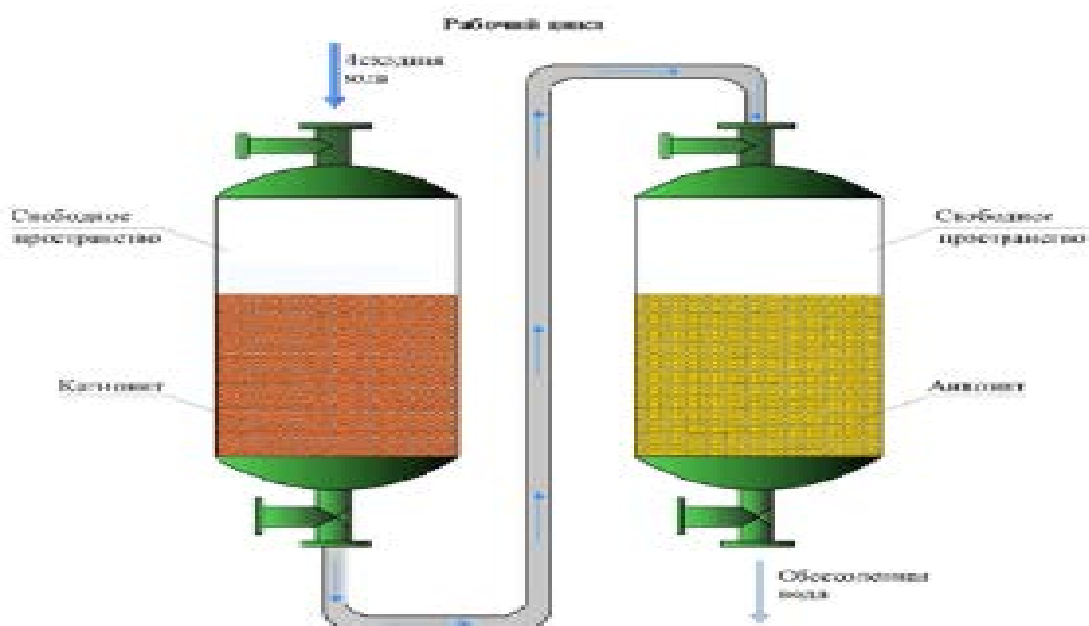


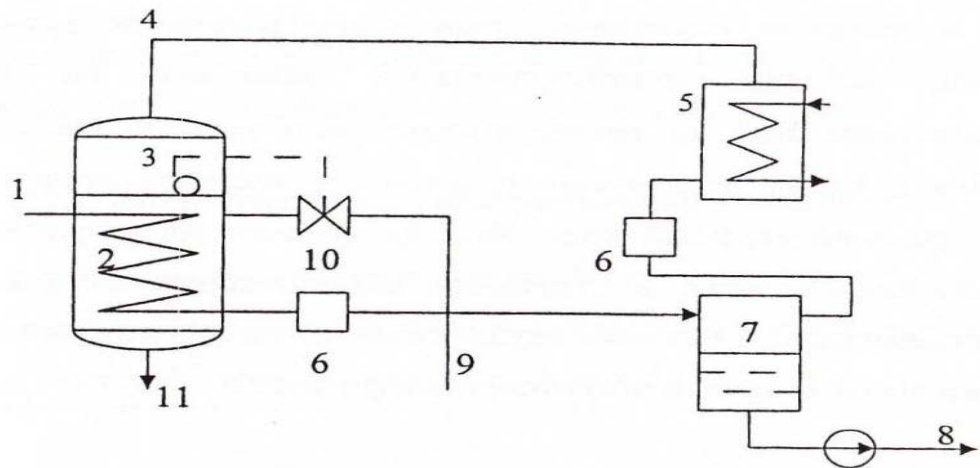
Рисунок 1.4 (б) Схема работы ионообменных фильтров

Термическое обессоливание воды. Если исходная вода имеет повышенное содержание ионов $SO_4^{2-} + Cl^- + NO_3^- + NO_2^-$ (7-12 мг-экв/л), то испарительные установки по своим технико-экономическим показателям выгоднее, чем установки для химического обессоливания воды.

Поступающая в испарительные установки вода за счет передачи тепла от подводимого в нагревательную систему греющего пара превращается в пар, который затем конденсируется. В процессе парообразования вещества, загрязняющие воду, остаются в испарителе и удаляются из него с непрерывной продувкой. Полученный в результате конденсации пара дистиллят содержит лишь незначительное количество нелетучих примесей, которые поступили с капельным уносом концентрата испарителя. Греющий пар, подводимый в нагревательную систему испарителя, называется первичным, а образующийся в испарителе - вторичным. Первичный пар передаст свое тепло для испарения находящейся в испарителе воде, затем конденсируется и поступает в сборник дистиллята. Вторичный пар из испарителя поступает в поверхностный охладитель, конденсируется и направляется в сборник дистиллята.

В зависимости от количества последовательно включенных корпусов различают одно-, двух- и многоступенчатые испарительные установки. Применение одноступенчатых установок экономически менее целесообразно, т.к. в них на 1 т греющего пара можно получить лишь 0,85-0,95 т дистиллята. В многоступенчатой установке вторичный пар каждой ступени используется в качестве греющего пара последующей ступени. С увеличением количества ступеней испарительной установки количество дистиллята, получаемого с одной тонны первичного пара: 1,4-1,65 т; 3,0-3,2 т; 3,5-3,7 т с двух-, четырех- и пятикорпусных установок.

На электростанциях, где потери конденсата невелики, дистиллят получают в двух ступенях испарительной установки. В многоступенчатых число ступеней не превышает шести, и питание аппаратов водой может осуществляться как последовательно, так и параллельно. В качестве первичного пара одноступенчатых установок и первой ступени многоступенчатых установок на станциях используется пар из регенеративных или регулируемых отборов турбины. Когда испарители включены в систему регенеративного подогрева питательной воды котлов, конденсация вторичного пара может производиться в отдельных конденсаторах, либо в тех же подогревателях, в которых осуществляется регенеративный подогрев питательной воды при отсутствии испарителей. На рисунке 1.5 представлена схема очистки воды термическим методом.



1 – первичный пар; 2 – нагревательная система; 3 – корпус испарителя; 4 – отвод вторичного пара; 5 – охладитель; 6 – конденсатоотводчик; 7 – сборник дистиллята; 8 – насос; 9 – питательная линия; 10 – регулятор уровня; 11 – линия продувки.

Рисунок 1.5 Схема термического обессоливания воды

Мембранные процессы подготовки воды. Метод обратного осмоса представляет собой фильтрование воды под давлением через полупроницаемые мембраны, пропускающие растворитель и полностью или частично задерживающие растворенные вещества. В основе этого метода лежит явление осмоса - самопроизвольного перехода растворителя через полупроницаемую перегородку в раствор. Давление, при котором наступает равновесие, называется осмотическим. Если со стороны раствора приложить давление, превышающее осмотическое, то перенос растворителя будет осуществляться в обратном направлении, т.е. возникает «обратный осмос».

1.3 Выводы

В настоящее время на ТЭЦ вода используется для получения электроэнергии и тепловой энергии в централизованных системах теплоснабжения (в виде горячего пара и горячей воды) посредством преобразования энергии, высвобождающуюся при сжигании органического топлива (угля, нефти и природного газа), для преобразования воды в пар высокого давления, который в свою очередь приводит во вращение турбину.

Подаваемая вода на ТЭЦ используется для получения перенасыщенного пара в котлах высокого давления. Основная задача водоподготовительного узла ТЭЦ это создание высокоэффективных, надежных и безопасных водно-химических режимов.

Применяемый водно-химический режим должен обеспечить работу электростанции без повреждений и снижения экономичности, вызванных коррозией внутренних поверхностей оборудования, а также образованием накипи и отложений на теплопередающих поверхностях, отложений в

проточной части турбин, шлама в оборудовании и трубопроводах электростанций. Для этого необходимо использовать глубоко обессоленную питательную воду для котлов высокого давления.

Основными методами в водоподготовке для получения глубоко обессоленной воды является ионный обмен с использованием катионитовых и анионитовых фильтров, а также фильтров смешенного действия и мембранное фильтрование (обратный осмос).

Сфера применения мембранных методов в энергетике расширяется. Это вызвано их технологическими преимуществами, экономическими причинами и соображениями экологической безопасности.

Использование натрий-катионитных фильтров имеет существенный недостаток: регенерация ионообменного материала производится раствором хлорида натрия, и образующиеся при этом солевые сточные воды должны быть утилизированы. Традиционно они направляются в городскую канализацию, однако в масштабах большого города эксплуатация РТС составляет серьезную экологическую проблему.

Так, интерес к использованию обратного осмоса при подготовке воды для паровых котлов вызван тем, что его внедрение может позволить значительно (на 90 %) сократить количество потребляемых реагентов (кислот, щелочей, хлорида натрия) и одновременно избавиться от проблем, связанных с утилизацией сточных вод с высоким содержанием химических веществ.

Таким образом, представляет интерес установить эффективность работы селективных мембран по отношению к различным катионам и анионам в водоподготовительном узле ТЭЦ. Произвести выбор типа мембран, разработать подробную схему испытаний и пусконаладочных работ.

Глава 2. Технологические аспекты использования мембранного фильтрования.

2.1. Классификация методов мембранного фильтрования

Особенностью мембранных технологий является то, что эти технологии в соответствии с мировой практикой поставляются на ТЭЦ в виде комплектного автоматизированного технологического комплекса «под ключ».

Основные виды мембранного фильтрования (в зависимости от размера удаляемых частиц): 1) микрофильтрация; 2) ультрафильтрация; 3) нанофильтрация; 4) обратный осмос.

Путем *микрофильтрации* удаляются частицы размером в диапазоне от 0,1 до 1 мкм. При этом взвешенные и большие коллоидные частицы остаются в концентрате, а макромолекулы и растворенные частицы проходят через мембрану. Данный метод также применяется для очистки воды от бактерий. Требуемое для осуществления процесса давление составляет $\sim 0,07$ МПа.

Ультрафильтрация обеспечивает макромолекулярное разделение для частиц размером до 0,1 мкм. При использовании данного метода все растворимые соли проходят через мембрану, задерживаются только коллоидные частицы и большие органические молекулы. Рабочее давление, используемое в данном методе, составляет 0,1-0,5 МПа. В процессах ультрафильтрации часто используется периодический тупиковый метод фильтрации.

Нанофильтрация применяется для очистки от частиц размером около 1 нм. При этом происходит задержание 20-98% растворимых солей. Соли, которые содержат одновалентные ионы, задерживаются на 20-80%, а соли, имеющие в составе двухвалентные ионы, задерживаются на 90-98% при рабочем давлении 0,35-1,6 МПа.

В *обратноосмотическом* методе мембраны служат барьером как для растворимых солей и неорганических молекул, так и для органических молекул с молекулярной массой более 100. Этот метод используется для глубокой очистки и деминерализации воды. Области применения обратного осмоса разнообразны: для опреснения морской или солоноватой воды в питьевых целях, очистки сточных вод, подготовки воды для производства напитков и пищевых продуктов, подготовки воды для использования в медицинских целях, очистки питьевой воды и воды, используемой в производственных процессах. Также, обратный осмос часто используется для производства ультрачистой воды для ее применения в медицинских целях и полупроводниковой промышленности. Необходимое давление для осуществления процесса разделения составляет от 1,4 МПа для солоноватой воды и до 6,9 МПа для морской воды.

2.2. Физико-химические основы обратного осмоса.

Обратноосмотический метод основан на следующем явлении. Если в сосуде между раствором и чистым растворителем поместить полупроницаемую перегородку (мембрану), способную пропускать растворитель и задерживать растворенные соли, то можно наблюдать, как чистый растворитель начнет поступать в отсек с концентрированным раствором. Перемещение растворителя происходит вследствие разницы концентраций жидкости по обеим сторонам перегородки. Через некоторое время уровень чистого растворителя станет значительно ниже уровня раствора. Разница уровней после установившегося равновесия характеризует осмотическое давление растворенного вещества. Процесс самопроизвольного перетекания менее концентрированного раствора в более концентрированный через полупроницаемую мембрану называется *осмосом*.

Если создать в растворе давление P , превышающее осмотическое, то происходит перетекание растворителя (воды) из концентрированного раствора в чистый растворитель. Такой процесс называется *обратным осмосом*.

При обратноосмотическом обессоливании воды из-за предпочтительного переноса растворителя через полупроницаемую мембрану у нее поверхности увеличивается концентрация задерживаемых веществ по сравнению с их содержанием в исходном растворе. Это явление называется концентрационной поляризацией.

Обратный осмос – это процесс разделения солей, который происходит когда «соленая вода» под давлением подается на полупроницаемую мембрану. Давление заставляет очищенную воду (пермеат) проходить сквозь мембрану, оставляя более сконцентрированный раствор в сбросе (концентрат). Этот процесс разделения превращен в продолжительный при помощи перекрестной конфигурации мембраны. Исходная вода проходит через серию мембранных элементов, результатом чего является производство пермеата и исходной воды с большей концентрацией солей для следующих элементов. Насос подает необходимое давление, а клапан на линии концентрата регулирует его величину через мембраны. Процесс концентрации продолжается, пока не достигается разумный предел. Обычно установки для солоноватых вод работают с результативностью 70-80 %, для соленых морских вод – на 35-50 %. На рисунке 2.1 представлен процесс обратного осмоса.

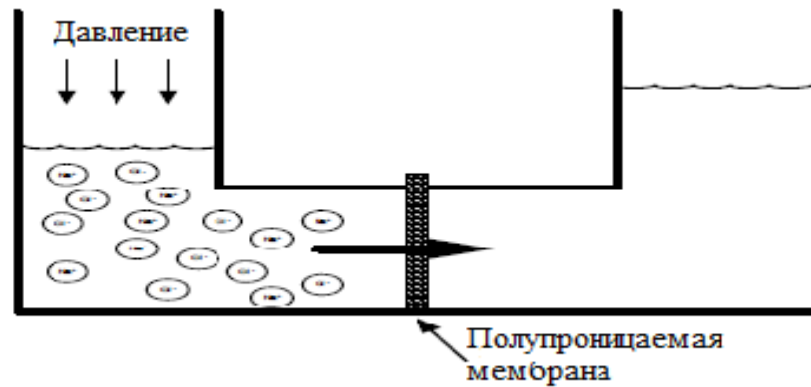


Рисунок 2.1 Процесс обратного осмоса

Современные обратноосмотические мембраны задерживают на молекулярном и ионном уровнях такие загрязнения, как ионы жесткости, железа, фторидов и др, однако трудность заключается в том, что мембраны задерживают различные ионы пропорционально величине селективности мембран.

Селективность и проницаемость являются основными критериями, характеризующими качество полупроницаемых мембран. Селективность, определяется качеством фильтрата и рассчитывается по формуле 2.1.:

$$\varphi = \left(\frac{C_1 - C_2}{C_1} \right) \cdot 100 \quad (2.1)$$

где C_1 и C_2 – концентрации растворенного вещества в исходной смеси и в фильтрате соответственно.

Проницаемость характеризуется объемом прошедшего фильтрата в единицу времени через поверхности и рассчитывается по формуле 2.2:

$$G = \frac{V}{F\tau} \left[\frac{\text{л}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}} \right] \quad (2.2)$$

где G – количество фильтрата, получаемого в единицу времени с единицы рабочей поверхности мембраны (пленки) F .

Большинство экспериментальных данных свидетельствует о капиллярном течении жидкостей в набухающих мембранах. Селективность таких мембран объясняется особыми свойствами жидкостей в капиллярах. Капиллярная модель полупроницаемой мембраны хорошо объясняет снижение селективности с ростом концентрации раствора, а также в водных растворах.

Предполагают, например, что в одном растворе электролита на поверхности гидрофильной мембраны в результате отрицательной адсорбции появляется слой чистой воды, поэтому если размер пор в мембране не превышает удвоенной толщины такого слоя (рис. 2), через них может проходить только чистая вода. Осмотическое давление растворов, близких по составу к природным водам, даже при небольшой степени минерализации их достаточно велико. Например, для морской воды, содержащей до 3,5% солей, оно составляет примерно 2,5 МПа.

2.3 Типы и конструкции мембран обратного осмоса

Обратноосмотические мембраны и элементы на их основе. Значительное влияние на эффективность процесса оказывает тип мембраны, которая используется для очистки воды. Основными требованиями, которые предъявляются к мембранам, являются:

- высокая производительность;
- селективность;
- химическая стойкость;
- механическая прочность;
- низкая стоимость.

Мембраны изготавливают из различных полимерных материалов, металлической фольги, пористого стекла, пористой керамики. Структура мембран может быть эластичной, жесткой или комбинированной. Эластичные мембраны уплотняются под воздействием на них давления. Пористые мембраны получают удалением из мембраны части растворителя, удалением из мембраны предварительно введенных в нее добавок.

В обратноосмотических установках используются асимметричные мембраны из ацетатцеллюлозы или ароматических полиамидов. Ацетатцеллюлозные мембраны обладают рядом существенных недостатков: узкий рабочий диапазон pH и температуры, высокая чувствительность к воздействию органических веществ (хотя необходимо отметить, что такие мембраны устойчивы к воздействию окислителей). Поэтому, в последнее время, широкое распространение получили мембраны из ароматических полиамидов и полисульфонов, которые способны выдерживать высокую температуру и работают в широком диапазоне pH.

Мембрана состоит из трех слоев: активный полиамидный слой, микропористый слой из полисульфона, поддерживающий слой из полиэфира (рис. 2.2).

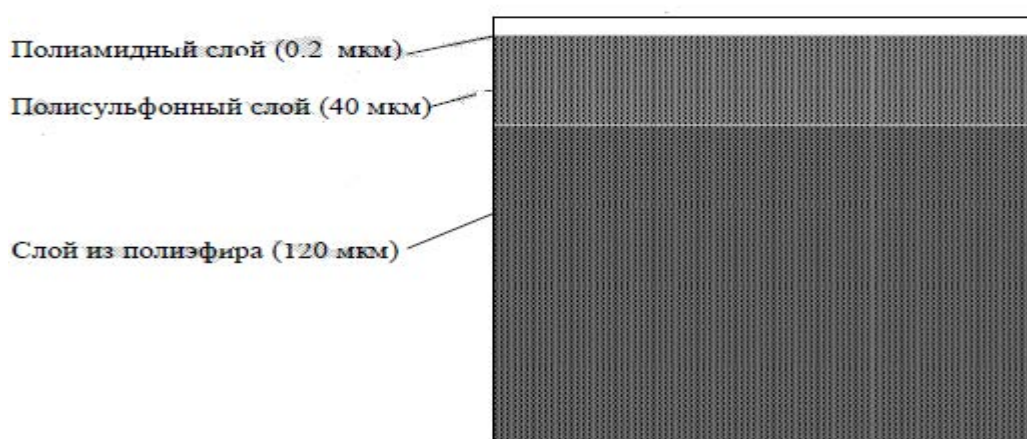


Рисунок 2.2 Структура мембраны

Наиболее распространенный тип мембраны – это спирально-намотанная обратноосмотическая мембрана, состоящая из следующих элементов: -

- *Мембрана (рис. 2.3).* Этот материал предотвращает прохождение солей, позволяя воде обессоливаться.

- *Переносчик пермеата (рис. 2.3).* Зажатый между слоями внутри мембраны, этот материал дает возможность пермеату перейти к пермеатоотводящей трубке.

- *Пермеатоотводящая трубка (рис. 2.3).* Перфорированная трубка, собирающая пермеат с закрепленными на ней мембранными листами. Концы трубки пермеата профилированы таким образом, чтобы подсоединять интерконнекторы. Они позволяют пермеату перемещаться из элемента в элемент, чтобы в конце концов прийти к выходу из корпуса.

- *Антителескопическое устройство (рис. 2.3)* Это устройство закреплено с обеих сторон элемента, как со стороны исходного потока, так и со стороны выхода концентрата. Оно сконструировано так, чтобы предотвратить эффект телескопичности мембраны, т.е. ее удлинения от перепада давления на линии исходная вода-концентрат. На нем также расположено кольцевое уплотнение.

- *Спейсер (рис. 2.3).* Зажатый между листами мембранного полотна, спейсер формирует канал для потока воды на линии исходная вода-концентрат. Он сделан таким образом, чтобы создавать турбулентность, разбивая пограничные зоны потока воды, что в свою очередь помогает снизить возможность отложения солей и загрязнения.

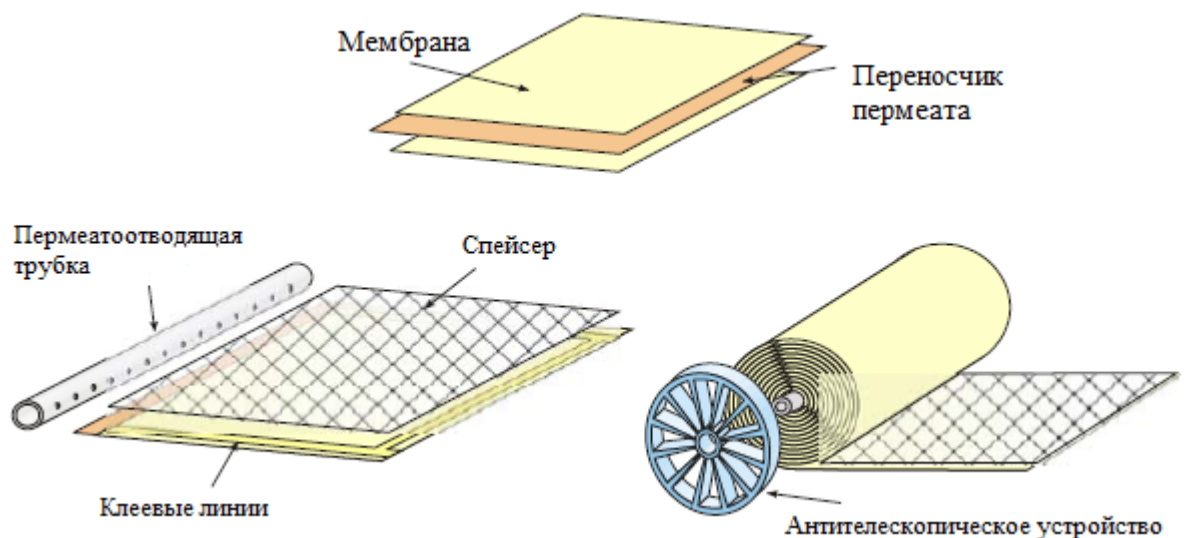


Рисунок 2.3 конструкция мембраны

Конструкция самой мембраны включает:

- *Интерконнектор.* Используется для соединения одной пермеатоотводящей трубки с другой или для соединения пермеатоотводящей

трубки и крышки корпуса (Рис 2.4). В интерконнекторе есть кольцевые прокладки, которые обеспечивают герметичность соединения.

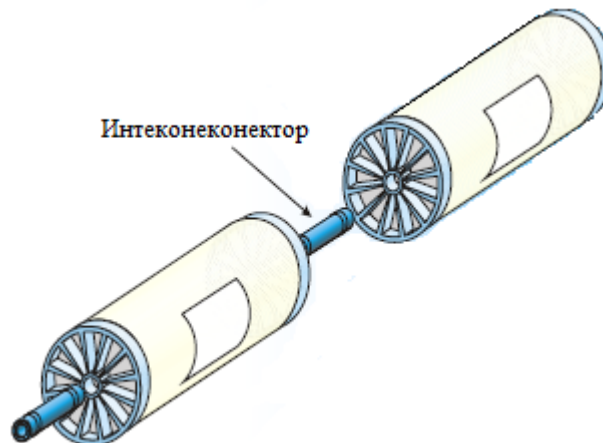


Рисунок 2.4 Соединение пермеатоотводящих трубок интерконнектора

- *Кожух или внешняя оболочка.* Обеспечивает жесткость всей конструкции, чтобы сохранить форму мембранного элемента под давлением и предотвратить повреждение мембранного элемента в обращении. Изготавливается обычно из упрочненного волоконного пластика. Некоторые 4-дюймовые элементы просто обернуты не жесткой пленкой. Модель мембраны производителя, а также серийный номер обычно видны либо на внешней оболочке, либо сквозь нее.

- *U-образное уплотнение.* Формирует уплотнение между мембранным элементом и корпусом. Дизайн устройства таков, что давление входящей воды открывает U-о и формирует водный замок. Это обеспечивает прохождение воды через элемент, а не вокруг него.

- *Корпус.* В корпусе находятся мембранные элементы, обычно от одного до семи, в зависимости от длины корпуса. Корпуса обычно изготавливаются из нержавеющей стали или из упрочненной стекловолоконной смолы.

Мембранные элементы необходимо загружать и выгружать по направлению потока воды. Во время установки элементов на U-образное уплотнение и кольцевые прокладки необходимо нанести глицерин (См. Рис. 2.5). При установке мембран записывайте серийные номера мембран и положение каждой мембраны внутри корпуса.

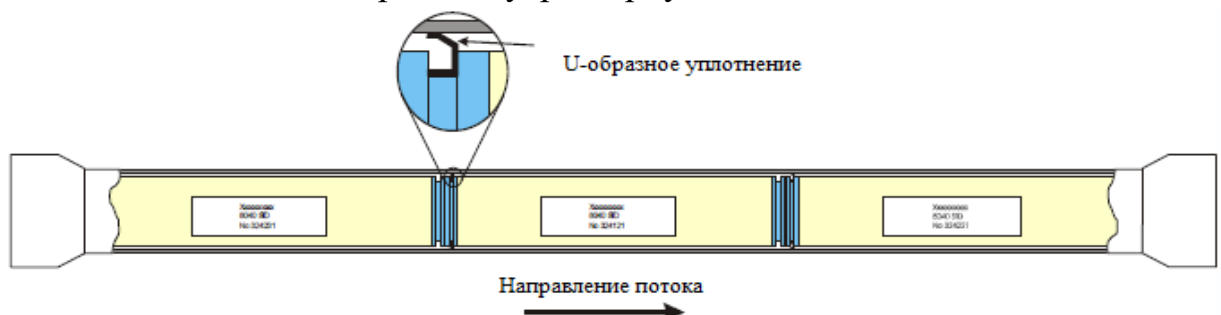
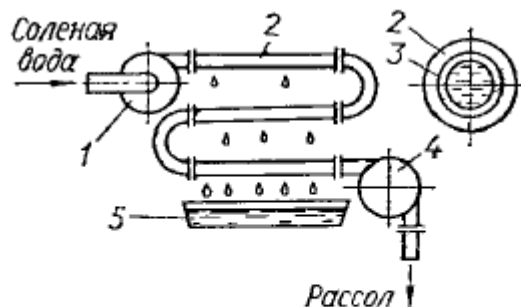


Рисунок 2.5 Установка мембран

Все аппараты на основе обратноосмотических мембран не зависимо от типа применяемых фильтрующих элементов являются непрерывно действующими. По виду мембранных элементов аппараты делятся на плоскокамерные, рулонные, трубчатые, с полыми волокнами.

Схема аппарата с трубчатыми мембранами, помещаемыми внутри пористых труб из стеклопластика и способных выдерживать давление 10 МПа, приведена на рис. 2.6. Установка состоит из 100 сборок труб диаметром 13 мм и длиной 2,5 м. На первой ступени установки концентрация солей снижается с 35 до 2 г/л (давление 5,6 МПа), на второй – с 2 до 0,2 г/л (давление 3,5 МПа)

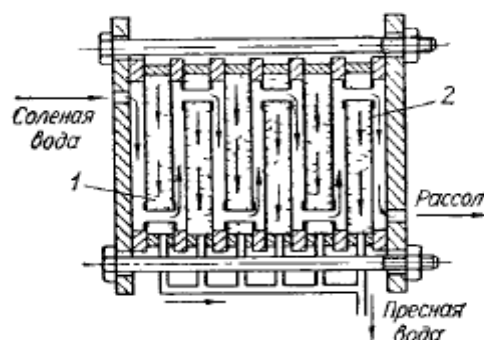


*Схема аппарата с трубчатым креплением мембран
1 – насос; 2 – пористая труба; 3 – мембрана;
4 – турбина; 5 – сборник пресной воды*

Рисунок 2.6 Схема аппарата с трубчатым креплением мембран

К достоинствам таких аппаратов можно отнести низкую металлоемкость, простоту конструкции, легкость турбулизации. Однако высокая стоимость изготовления и сложная замена вышедших из строя мембран являются существенными недостатками.

В аппаратах с плоскокамерными элементами (рис. 2.7) соленая вода опресняется при движении вдоль мембран параллельными потоками. Полезная поверхность аппарата увеличивается многокамерной укладкой мембран по типу фильтр-пресса.



*Схема аппарата с плоскокамерными элементами
1 – пористые пластины; 2 – мембраны*

Рисунок 2.7 Схема аппарата с плоскокамерными элементами

Преимущество аппарата фильтр-пресного типа являются простота монтажа и замена мембран, к недостаткам относительно высокая металлоемкость (плотность упаковки мембран в аппаратах составляет 200-250 м²). При таких конструкциях аппарата процесс очистки протекает при сравнительно высоких скоростях прохождения очищаемого раствора (вследствие незначительного зазора между соседними мембранами), что позволяет снизить влияние поляризации.

Аппараты рулонного типа (рис. 2.8) состоит из корпуса 1, представляющий собой трубу длиной около 9 метров и диаметром 7-20 сантиметров, в которую вставляются рулонные фильтрующие элементы 2, соединенные между собой муфтами 5. Поступающая в корпус аппарата соленая вода попадает в напорные каналы фильтрующих элементов, движется вдоль их образующих, опресняется и в виде концентрата отводится. Опресненная вода направляется по спиралевидным каналам к центру фильтрующего элемента и трубой 4 отводится из аппарата. Попадание соленой воды в зазор между фильтрующими элементами 2 и корпусом аппарата 1 предотвращается установкой уплотняющих колец 3.

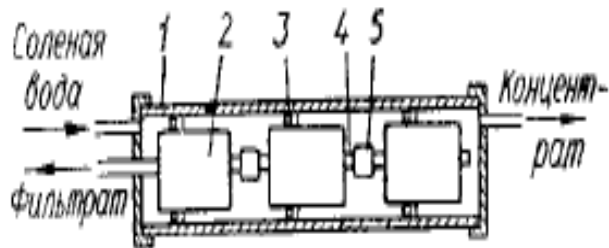


Схема аппарата рулонного типа

*1 – корпус; 2 – рулонный фильтрующий элемент;
3 – уплотняющее кольцо; 4 – водоотводная трубка; 5 – муфта*

Рисунок 2.8 Схема аппарата рулонного типа

Такие мембраны изготавливаются из полимерных материалов, пористого стекла, графитов, металлической фольги и прочего.

2.4. Основные характеристики работы мембран

В настоящее время одними из лучших считаются мембраны- это тонкопленочные композиционные обратноосмотические мембраны, сделанные из полиамида (рис.2.9).

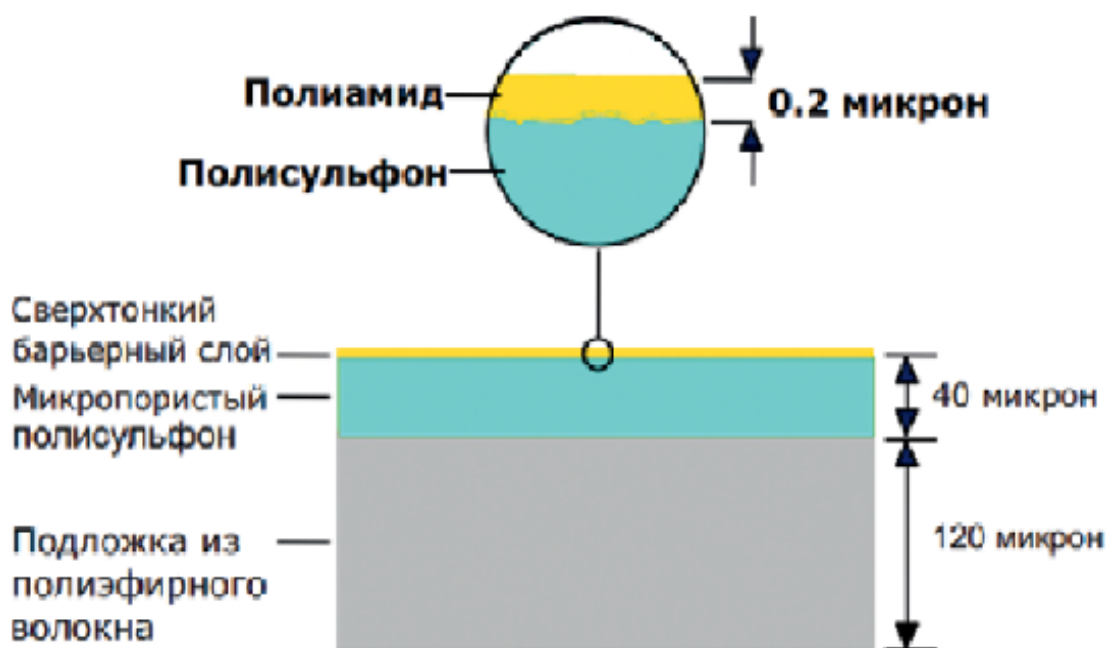


Рисунок 2.9 Структура обратноосмотической мембраны из полиамида

Важнейшими сравнительными характеристиками обратноосмотических процессов являются удельная производительность (расход очищенной воды через единицу поверхности мембраны, л/ч*м²) и солезадержание (селективность) (%), которые в свою очередь зависят от следующих факторов:

- давление;
- температура;
- степень извлечения пермеата (R %);
- концентрация солей в исходной воде.

Рассмотрим подробнее влияние этих параметров на удельную производительность и солесодержание

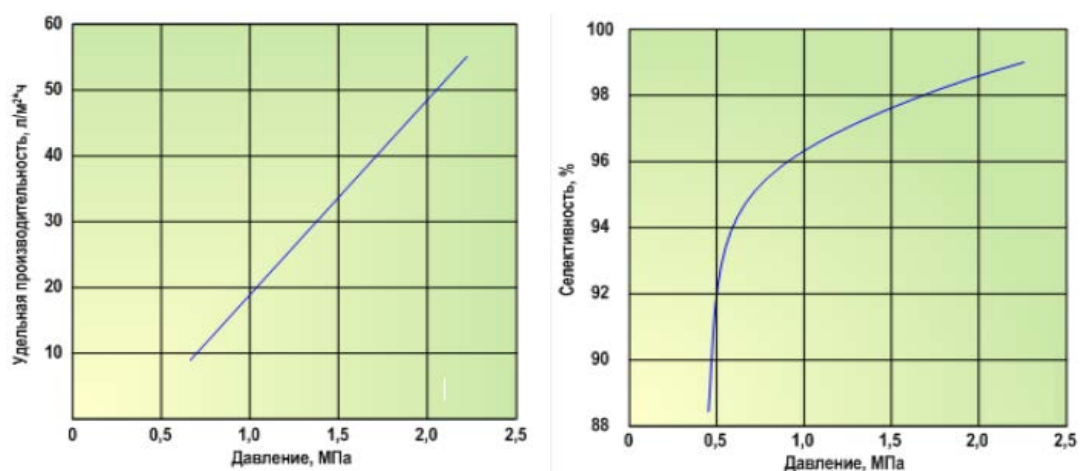


Рис. 2.10 - Влияние давления на удельную производительность и солесодержание м³/ч



Рис.2.11 - Влияние температуры на удельную производительность и солезадержание



Рис. 2.12 - Влияние значения R (соотношение концентрата к фильтрату, выражается в процентах) - критерия на удельную производительность и солезадержание

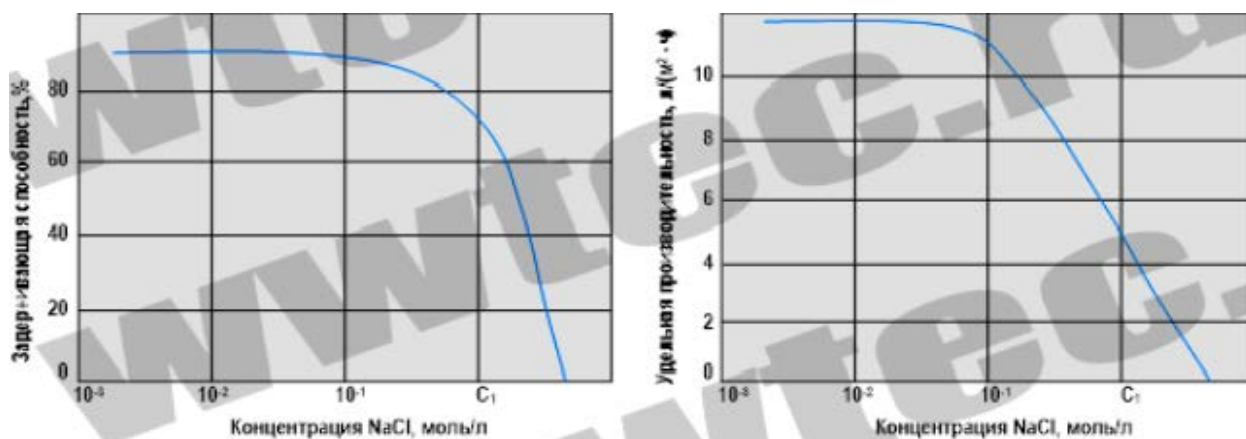


Рис.2.13 - Влияние концентрации солей в исходной воде на удельную производительность и задерживающую способность

С повышением давления наблюдается рост удельной производительности и солезадержания (рис. 2.10). Если температура повышается, и при этом значения остальных параметров остаются постоянными, то наблюдается рост удельной производительности и уменьшение солезадержания (рис.2.11).

В случае увеличения значения R (степень извлечения пермеата) – критерия, удельная производительность падает до тех пор, пока концентрация растворенных солей не достигнет значения, при котором осмотическое давление будет равно гидростатическому давлению в аппарате (рис. 2.12). С увеличением концентрации веществ в воде, поступившей на обработку, наблюдается падение удельной производительности и задерживающей способности (рис.2.13).

Обратноосмотическая установка комплектуется из мембранных элементов. Некоторые из них имеют достаточно сложную конструкцию, которая оказывает влияние на эффективность процесса.

Мембранные элементы могут быть следующих типов:

- плоскокамерные;
- трубчатые;
- рулонные;
- на основе полых волокон.

Элементы плоскокамерного и трубчатого типов относятся к начальному этапу развития мембранной технологии. Они требуют значительных капитальных затрат и имеют относительно низкую плотность упаковки. Одним из существенных достоинств элементов трубчатого типа является их хорошие гидродинамические характеристики: сопротивление потоку незначительно, а его линейная скорость может достигать достаточно высоких значений.

Существует определенная аналогия между элементами трубчатого типа и аппаратами на основе полых волокон, но вместе с тем полое волокно представляет собой мембрану, выполненную в виде очень тонкого капилляра, строение которого может быть изотропным или чаще анизотропным по толщине стенок, при этом активный слой может находиться как с внутренней, так и внешней стороны. Малый диаметр полого волокна приводит к принципиально лучшим параметрам этих аппаратов. Прежде всего, вследствие малого диаметра волокна конструкция мембраны может выдерживать без нарушения структуры воздействие высоких давлений. Вследствие малого диаметра как внутреннего, так и внешнего сечения полых волокон их общая разделительная поверхность в единице объема элемента превосходит более чем на два порядка показатель трубчатых элементов. При равном объемном расходе линейная скорость во внутреннем канале полого волокна вблизи рабочей поверхности выше, чем в остальных элементах. Учитывая то, что коэффициент гидравлической проницаемости (удельная проницаемость единицы площади мембраны при единичном давлении) в этих мембранах существенно ниже, чем в пленочных

мембранах (что компенсируется большой рабочей поверхностью мембран), уровень концентрационной поляризации незначителен.

Наряду с очевидными достоинствами элементов данного типа имеются некоторые недостатки. Прежде всего, при их использовании особо актуальной является проблема предподготовки воды. Попадание крупных частиц внутрь капилляра волокна приводит к выходу его из строя. К таким же последствиям приводит осадкообразование внутри капилляров. Хотя с точки зрения концентрационной поляризации полые волокна являются удачным конструктивным решением, однако, очистка от загрязнения в этих элементах представляет серьезную проблему. Недостатком элементов данного типа является также то, что появление дефекта у отдельного волокна и выход его из строя резко ухудшает показатели разделения элементов вплоть до необходимости его замены.

Если элементы трубчатого типа используются в основном при ультрафильтрации, то элементы рулонного типа (рис.1.3.7) - в обратном осмосе.

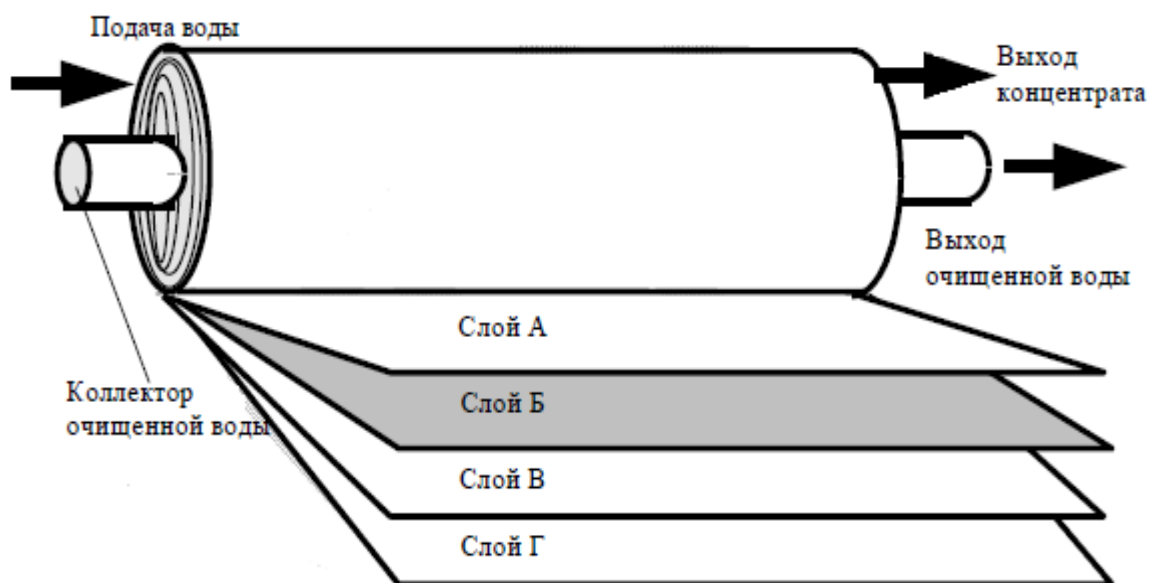


Рис.2.14 – Схема рулонного мембранного элемента

Слой А – прокладка для подачи исходной воды; Слой Б – армированная полупроницаемая мембрана; Слой В – прокладка для вывода очищенной воды к коллектору; Слой Г – клейкая прокладка.

Мембранный элемент рулонного типа работает следующим образом: исходная вода под давлением, превышающим осмотическое давление раствора, подается в мембранодержатель, который содержит один или несколько последовательно расположенных мембранных элементов. После чего поток воды по каналам прокладки подачи исходной воды поступает к поверхности мембраны. Часть воды со значительно сниженным содержанием (пермеат) транспортируется через полупроницаемую

мембрану (слой Б) и по каналам слоя В собирается в коллекторе. Оставшаяся часть воды (концентрат), растворенные в ней соли и взвешенные частицы удаляются из элемента с другой стороны мембраны.

Конструкция аппаратов этого типа характеризуется следующими преимуществами:

- высокой рабочей площадью мембран в единице объема аппарата;
- удобство изготовления и монтажа (демонтажа);
- сравнительной простотой конструкции;
- возможность использования для его изготовления заранее испытанной плоской мембраны;
- удобство в обслуживании;
- значительная свобода при выборе конфигурации системы.

Под конфигурацией системы в данном случае понимается количество мембранных элементов, количество мембранодержателей, их расположение в схеме, а также наличие рецикла. Все эти составляющие в значительной степени влияют на стоимость установки обратноосмотической очистки воды, а, следовательно, и водоподготовки в целом.

Глава 3. Система предочистки и очистки ТЭЦ

3.1 Общая характеристика системы водоснабжения ТЭЦ

В промышленном узле города Новополюцка функционирует ТЭЦ. Подаваемая вода на ТЭЦ используется для получения перенасыщенного пара в котлах высокого давления. Основная задача водоподготовительного узла ТЭЦ это создание высокоэффективных, надежных и безопасных водно-химических режимов и водоподготовительных установок для следующего оборудования ТЭЦ: паровых котлов и турбин, систем теплоснабжения и систем обратного охлаждения.

Схема работы ТЭЦ достаточно проста (рис 3.1.). В топку одновременно поступают топливо и разогретый воздух — окислитель. Наиболее распространенное топливо на ТЭЦ — газ или измельченный уголь. Тепло от сгорания угольной пыли превращает воду, поступающую в котел в пар, который затем под давлением подается на паровую турбину. Мощный поток пара заставляет ее вращаться, приводя в движение ротор генератора, который преобразует механическую энергию в электрическую.

Далее пар, уже значительно утративший свои первоначальные показатели — температуру и давление — попадает в конденсатор, где после холодного «водяного душа» он опять становится водой. Затем конденсатный насос перекачивает ее в регенеративные нагреватели и далее — в деаэрактор. Там вода освобождается от газов — кислорода и CO_2 , которые могут вызвать коррозию. После этого вода вновь подогревается от пара и подается обратно в котел.

Применяемый водно-химический режим должен обеспечить работу электростанции без повреждений и снижения экономичности, вызванных коррозией внутренних поверхностей оборудования, а также образованием накипи и отложений на теплопередающих поверхностях, отложений в проточной части турбин, шлама в оборудовании и трубопроводах электростанций. Для этого необходимо соблюдать показатели качества питательной воды для котлов высокого давления, указанные в таблице 3.1.

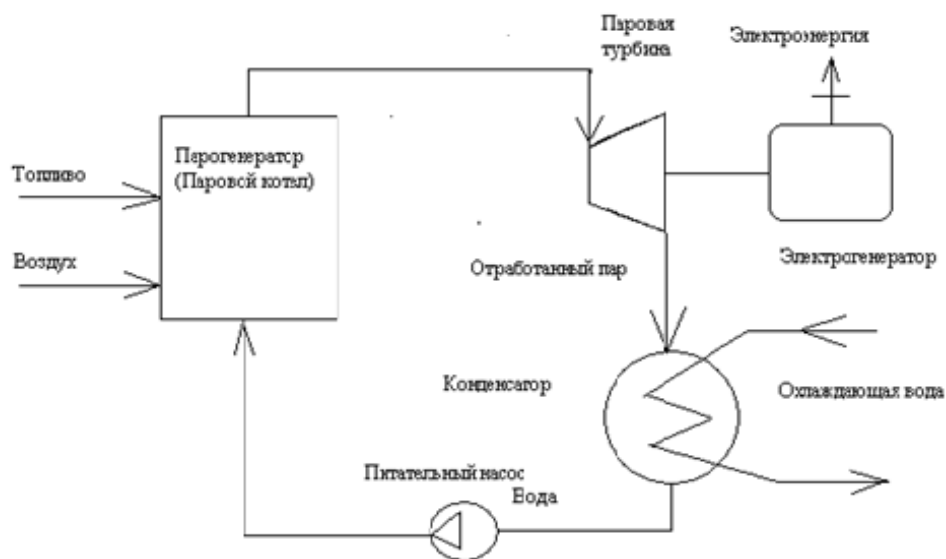


Рисунок 3.1 Принципиальная схема работы ТЭЦ

Таблица 3.1. - Основные показатели качества питательной воды для котлов высокого давления.

Контролируемый показатель	Размерность	Количество
pH		8±0,1
SiO ₂ – содержание кремнекислоты	мг/дм ³	≤0,01
Fe – общее железо	мг/дм ³	≤0,01
Na - натрий	мг/дм ³	≤0,005
Общий органический углерод	мг/дм ³	≤0,1
Хлориды	мг/дм ³	≤0,005
Сульфаты	мг/дм ³	≤0,005
удельная электропроводимость	мкСм/см	<1

3.2 Краткая характеристика блоков предочистки и очистки на ТЭЦ

Номинальная производительность Водоподготовительной установки составляет 90 м³/ч. Качество исходной воды из реки В. представлено в таблице 3.2. Из данных, представленных в таблице 3.2, следует, что наибольшие значения показателей загрязнения воды соответствуют осеннему периоду. Для того что бы водоподготовительная установка бесперебойно обеспечивала потребителя водой требуемого качества, производим расчет данной установки на самый неблагоприятный период (осенний период).

Таблица 3.2. - Качество исходной воды

№ п/п	Показатель загрязнения	Лето	Осень	Зима	Весеннее половодье
1	Водородный показатель (ед. рН)	8,03	8,1	7,96	8,09
2	Оксид кремниевой кислоты (мг/дм³)	9,72	10,04	3,6	2,4
3	Железо общее (мг/дм³)	0,312	0,112	0,071	0,224
4	Натрий (мг/дм³)	6,78	8,12	6,91	5,82
5	Хлориды (мг/дм³)	11,75	16,55	14,60	12,70
6	Сульфаты (мг/дм³)	25,75	30	28,75	26
7	Температура, °С	23,8	5,6	6,0	7,1
8	Запах при 20°С и 60°С (балл)	0	0	0	0
9	Сухой остаток (мг/дм ³)	257	244	277	269
10	Цветность (градус)	17,0	13	21	26
11	Мутность (мг/дм ³)	3,7	3,7	3,9	3,2
12	Взвешенные вещества (мг/дм ³)	0,8	1,4	7,4	3,6
13	Кальций (мг/дм ³)	59,25	63,97	64,91	58,46
14	Магний (мг/дм ³)	16,04	15,49	16,64	13,37
15	Калий (мг/дм ³)	2,25	2,63	2,96	2,76
16	Марганец (мг/дм ³)	0,138	0,018	0,01	0,03
17	Алюминий (мг/дм ³)	0,049	0,28	0,007	0,035
18	Медь (мг/дм ³)	0,01	0,02	0,001	0,001
19	Свинец (мг/дм ³)	0,001	0,001	0,001	0,001
20	Цинк (мг/дм ³)	0,005	0,005	0,005	0,005
21	Фосфаты (мг/дм ³)	0,049	0,171	0,14	0,015
22	Гидрокарбонаты (мг/дм ³)	220,74	234,53	236,09	207,2
23	Сероводород (мг/дм ³)	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
24	Жесткость общая (мг-экв./дм ³)	4,34	4,47	4,61	4,02
25	Жесткость карбонатная (мг-экв./дм ³)	3,62	3,84	3,87	3,4
26	Жесткость постоянная (мг-экв./дм ³)	0,66	0,63	0,74	0,62
27	Аммоний (мг/дм ³)	0,1	0,07	0,3	0,2
28	Нитраты (мг/дм ³)	1,	4,7	5,75	8,4
29	Нитриты (мг/дм ³)	0,046	0,044	0,036	0,074
30	СПАВ (мг/дм ³)	0,025	0,005	0,065	0,01
31	Фенолы (мг/дм ³)	0,0005	не обн.	0,0005	0,0005
32	БПК ₅ (мгО ₂ /дм ³)	3,95	2,82	2,17	3,34
33	ХПК ₅ (мгО ₂ /дм ³)	17,4	24,36	22,48	28,1

Требования к качеству глубоко обессоленной воде для подпитки котлов указано в таблице 3.1. Все элементы установки водоподготовки должны сохранять прочность, герметичность и выполнять свои функции в режимах нормальной эксплуатации (НЭ) и при нарушении нормальной эксплуатации (ННЭ).

Исходная вода из реки поступает на блок сетчатых фильтров. Блок сетчатых фильтров состоит из двух сетчатых фильтров. Номинальная производительность блока составляет 400 м³/ч. Отфильтрованная вода направляется в промежуточные баки. Далее из баков вода поступает на подогрев с помощью блока подачи исходной воды, который состоит из трех насосов с номинальной производительностью 200 м³/ч каждый. Два насоса находятся в работе, один – в резерве. Для подогрева исходной воды до температуры в диапазоне от плюс 20 до плюс 25 °С в схеме предусмотрены блоки подогрева исходной воды, состоящие из трех теплообменников соответственно. Два блока находятся в работе, еще один – в резерве. Номинальная производительность одного блока составляет 200 м³/ч. Данная температура является наиболее оптимальной для работы установок обессоливания на основе мембранных методов (см. главу 3).

Далее подогретая вода направляется на блок дисковых ультрафильтрационных фильтров. Блок состоит из двух самопромывных фильтров (рис 3.2). Во время работы нерастворимые частицы размером крупнее пор, образованных насечками на фильтрующих дисках, задерживаются дисками. По опыту работы установок ультрафильтрации наиболее оптимальной является толщина фильтрации 130 мкм. При увеличении перепада давления происходит промывка дисков.

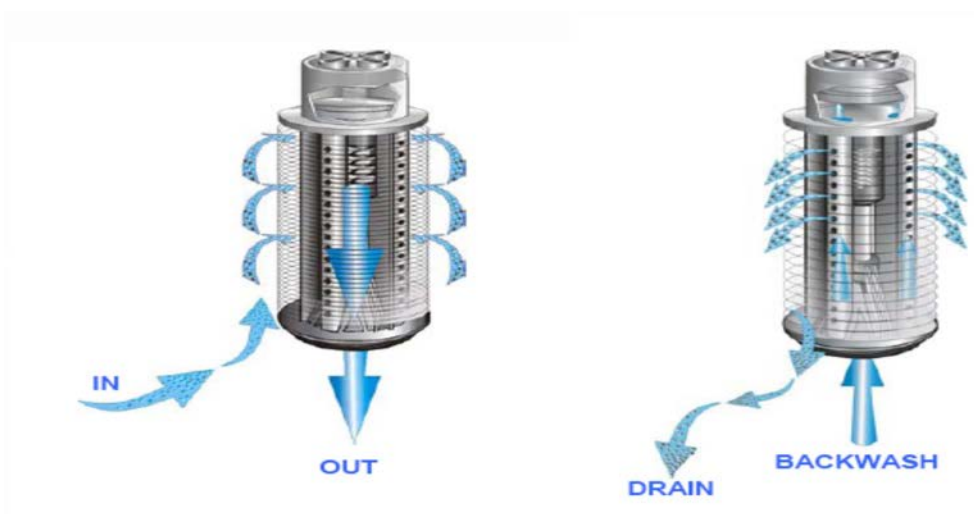


Рисунок 3.2. Дисковые самопромывные фильтры

После блока дисковых фильтров исходная вода направляется на блок смесителей. Блок состоит из двух статических смесителей установленных последовательно. Смесители предназначены для смешивания исходной воды с раствором серной кислоты и раствором коагулянта. Номинальная производительность блока составляет 400 м³/ч.

Вода, прошедшая обработку на блоках смесителей, направляется на блок контактных емкостей (контактная емкость предназначена для обеспечения контакта обрабатываемой воды с реагентом, в данном случае с

раствором серной кислоты и с раствором коагулянта) и далее на блок ультрафильтрационных мембранных элементов (рис.3.3).



Рисунок 3.3 Блок ультраfiltrации

Предварительно в поток предварительно очищенной воды производится дозирование коагулянта пропорционально потоку очищаемой воды. Коагулянт вводится для коагуляции мелких нерастворимых частиц, снижения органических примесей, снижения содержания железа и др. Для дозирования раствора коагулянта в схеме предусмотрен блок дозирования коагулянта. Блок дозирования коагулянта состоит из двух дозирующих контейнеров, и двух дозирующих насосов, из которых один находится в работе, другой – в резерве. Номинальная производительность каждого дозирующего насоса составляет $60 \text{ м}^3/\text{ч}$.

С целью оптимизации процесса коагуляции осуществляется коррекция pH путем ввода серной кислоты в поток обрабатываемой воды. Для коррекции pH в схеме предусматривается установка блока дозирования серной кислоты. Для обеспечения времени контакта с коагулянт перед ультрафильтрацией служит блок контактных емкостей, состоящий из двух емкостей.

Коагулированная вода поступает на обработку на шесть блоков ультрафильтрационных мембранных элементов, являющихся основными элементами установки ультрафильтрации. Номинальная производительность установки по очищенной воде составляет $360 \text{ м}^3/\text{ч}$. Осветленная вода из установки ультрафильтрации направляется в баки осветленной воды. В процессе фильтрования на поверхности ультрафильтрационных мембранных элементов задерживаются загрязнения, размер которых больше размера пор в мембране.

Загрязнение поверхностей ультрафильтрационных мембранных элементов ведет к увеличению перепада давления на блоке

ультрафильтрационных мембранных элементов. Для восстановления первоначального перепада давления на мембранных элементах предусматривается проведение прямой и обратной промывок, во время которых удаляются задержанные мембраной загрязнения. Прямая промывка проводится потоком исходной воды. Во время проведения прямой промывки удаляется большая часть загрязнений с поверхности мембраны; промывные воды отводятся в баки-нейтрализаторы. Обратная промывка производится осветленной водой из баков.

Блок промывки состоит из трех насосов и сетчатого фильтра. Каждый из насосов дополнительно оснащен частотными преобразователями. В блоке промывки два насоса находятся в режиме работы, третий - в резерве. Номинальная производительность каждого насоса блока промывки составляет 60 м³/ч.

Осветленная вода через фильтратный коллектор направляется мембранные элементы и, проходя через мембрану, поток обратной промывки смывает с поверхности мембран накопленные за время фильтрации загрязнения.

Через определенное число обратных промывок блоков ультрафильтрационных элементов, определяемых при проведении пуско-наладочных работ, проводится усиленная обратная промывка ультрафильтрационных мембранных элементов с применением химических реагентов (по западной терминологии - СЕВ-мойка (chemically enhanced backwash - химически расширенная промывка)). Для этого в составе установки ультрафильтрации предусмотрены блоки дозирования реагентов: гипохлорита натрия, щелочи и кислоты. Данные реагенты дозируются в уменьшенный поток обратной промывки и помогают вымыть из мембранных элементов загрязнения, которые не удаляются во время периодических обратных промывок.

Дозирование гипохлорита натрия для проведения усиленной обратной промывки происходит пропорционально потоку промывной воды. Для дозирования раствора гипохлорита натрия в схеме предусмотрен блок дозирования гипохлорита натрия на базе двух насосов-дозаторов, с регулируемой производительностью по внешнему сигналу от 4 до 20 мА. Забор гипохлорита натрия осуществляется из входящих в комплект поставки двух дозирующих контейнеров. Номинальная производительность блока дозирования гипохлорита натрия составляет 30 дм³/ч, один насос находится в режиме работы, один насос – в резерве.

Дозирование щелочи для проведения усиленной обратной промывки происходит пропорционально потоку промывной воды. Для этих целей в схеме предусмотрен блок дозирования щелочи на базе двух насосов-дозаторов, с регулируемой производительностью по внешнему сигналу от 4 до 20 мА. Номинальная производительность блока дозирования щелочи составляет 123 дм³/ч, один насос находится в режиме работы, один насос – в резерве. Дозирование кислоты для проведения усиленной обратной промывки происходит пропорционально потоку промывной воды. Для этих целей в схеме предусмотрен блок дозирования кислоты на базе двух насосов-

дозаторов, с регулируемой производительностью по внешнему сигналу от 4 до 20 мА. Номинальная производительность блока дозирования кислоты составляет 45 дм³/ч, один насос находится в режиме работы, один насос – в резерве.

Осветленная вода из баков осветленной воды с помощью блока подачи осветленной воды, состоящей из двух насосов, дополнительно оснащенных частотными преобразователями, направляется на блоки ультрафиолетового обеззараживания. Блоки предназначены для обеззараживания осветленной воды перед установкой обратного осмоса первой ступени. Номинальная производительность одного блока ультрафиолетового обеззараживания составляет 170 м³/ч, два блока находятся в режиме работы, один блок - в резерве. В каждый блок входит установка ультрафиолетового обеззараживания и промывочный насос.

Осветленная вода после УФ-обеззараживания направляется на блок смешения. Блок состоит из статического смесителя. Смеситель предназначен для смешивания осветленной воды с биоцидом и антискалянтом. Для их подачи в схеме предусмотрены блоки дозирования биоцида и блок дозирования антискалянта.

После смесителей осветленная вода направляется на блок тонкой очистки входящий в состав блоков обратного осмоса. Каждый блок тонкой очистки состоит из двух установленных вертикально фильтродержателей, предназначенных для установки в них фильтрующих элементов (картриджей) с тонкостью фильтрации 5 мкм. В ходе обработки на данном блоке происходит удаление нерастворимых частиц размером более 5 мкм из потока осветленной воды, направляемой на блоки обратного осмоса. Качество деминерализованной воды поступающей на блок глубокого обессоливания представлено в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Качество деминерализованной воды.

№ п/п	Показатель загрязнения	Единица измерения	Деминерализованная вода
1	Общее солесодержание	мг/дм ³	До 210
2	Величина рН (после подщелачивания)	ед. рН	7,5-7,9
3	Жесткость общая	мг-экв/дм ³	до 0,46
4	Жесткость карбонатная	мг-экв/дм ³	до 0,23
5	Хлориды	мг/дм ³	до 60
6	Сульфаты	мг/дм ³	до 7
7	Нитраты	мг/дм ³	до 0,9
8	Фосфаты	мг/дм ³	до 1,9
9	Окисляемость	мгО ₂ /дм ³	до 9
10	Взвешенные вещества	мг/дм ³	до 23

Вода под высоким давлением направляется на вход обратно осмотических мембранных элементов блоков обратного осмоса первой

ступени, где происходит разделение исходного потока воды на поток с пониженным солесодержанием - пермеат и поток, обогащенный солями - концентрат.

Пермеат с блоков обратноосмотических мембранных элементов направляется на блоки декарбонизации. Каждый из блоков состоит из одного аппарата декарбонизации. Номинальная производительность одного блока декарбонизации составляет 230 м³/ч. Воздух в декарбонизаторы подается при помощи 2-х центробежных вентиляторов. Проходя через блок декарбонизации, происходит выделение из пермеата свободной углекислоты. Декарбонизованная частично-обессоленная вода (далее по тексту - ЧОВ) направляется в баки декарбонизованной воды, откуда с помощью блоков подачи ЧОВ подается на дальнейшую очистку.

ЧОВ насосной станцией направляется на блоки ультрафиолетового обеззараживания. Блоки предназначены для обеззараживания осветленной воды перед установкой обратного осмоса второй ступени. Номинальная производительность одного блока ультрафиолетового обеззараживания составляет 170 м³/ч, один блок находится в режиме работы, один блок - в резерве. В каждый блок входит установка ультрафиолетового обеззараживания и промывочный насос.

Далее ЧОВ направляется на блоки тонкой очистки, входящие в состав блоков обратного осмоса. Каждый блок тонкой очистки состоит из двух установленных вертикальных фильтродержателей, предназначенных для установки в них фильтрующих элементов (картриджей) с тонкостью фильтрации 5 мкм. В ходе обработки на данном блоке происходит удаление нерастворимых частиц размером более 5 мкм из потока частично-обессоленной воды, направляемой на блоки обратного осмоса.

Вода под высоким давлением направляется на вход обратноосмотических мембранных элементов блоков обратного осмоса второй ступени, где происходит разделение исходного потока воды на поток с пониженным солесодержанием - пермеат и поток, обогащенный солями - концентрат. Суммарная номинальная производительность блоков обратноосмотических мембранных элементов составляет 90 м³/ч по пермеату. Качество глубоко обессоленной воды после блока обратного осмоса представлено в таблице 3.4

Таблица 3.4 – Качество глубоко обессоленной воды

Контролируемый показатель	Размерность	Количество
pH	ед. pH	5,5-8
SiO ₂ – содержание кремнекислоты	мг/дм ³	до 0,01
Fe – общее железо	мг/дм ³	до 0,01
Na - натрий	мг/дм ³	до 0,005
Общий органический углерод	мг/дм ³	до 0,1
Хлориды	мг/дм ³	до 0,005
Сульфаты	мг/дм ³	до 0,005
удельная электропроводимость	мкСм/см	до 0,1

Глава 4. Оценка эффективности работы мембран в блоках обратного осмоса

4.1 Методика проведения исследований

Для определения технологических параметров мембран обратного осмоса через испытательную установку блока обратного осмоса, состоящего из трех мембранных корпусов, загруженных мембранами разных производителей, пропускаем предварительно очищенную воду с расходом 21 м³/ч (7 м³/ч на каждый мембранный корпус). Основные показатели качества воды, используемой в исследовании, отображены в таблице 3.3, температура воды на протяжении всего эксперимента для всех мембран постоянна и равна 25 °С. Контроль технологических параметров при испытаниях установки осуществляется на базе приборов, установленных на блоке. Сведения о средствах измерения и приборах контроля параметров работы блока приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Средства измерения и приборы контроля

Наименование и краткая техническая характеристика	Кол. шт.	Назначение
Аналитический прибор АЖК-3122.1.П.2 Комплект: Преобразователь ПП моноблочного исполнения с датчиком; Измерительный прибор (ИП); Диапазон измерения 0...1000 мкСм/см; выходной сигнал 4...20мА; Изготовитель ЗАО НП «Автоматика»	1	Измерение удельной электропроводимости пермеата, мкСм/см
Расходомер электромагнитный «Взлет ТЭР» Ду = 80 мм, выходной сигнал 4...20мА; Встроенный ЖК дисплей; Без поворота измерительного блока; питание 24В; IP 67; Защитные кольца, Изготовитель: «Взлет»	1	Измерение расхода исходной воды, м ³ /ч
рН-метр портативный «РН-410» Встроенный ЖК дисплей; Диапазон измерения 0...14 рН Изготовитель «Аквилон»	1	Измерение активности ионов водорода (рН)

С помощью данных приборов каждый час производится сверка параметров и при их отклонении более чем на 15%, возникает необходимость остановки блока обратного осмоса и его вывода на регенерацию.

При проведении эксперимента в модельной установке были рассмотрены процессы образования отложений внутри мембраны и их загрязнение органическими веществами.

Ход исследования:

1) Проведение химического анализа исходной воды, поступающей на блок обратного осмоса, для определения возможности образования отложений с целью получения информации по применению антискалянта и его дозировки. Для этого в ходе эксперимента произведен химический анализ с целью определения концентрации ионов (Ca , Mg , Na , K , Sr , Ba , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mn , Al , HCO_3 , Cl , SO_4 , F , NO_3 , SiO_2), которых необходимо знать для того, чтобы произвести расчет дозировки антискалянта (данный расчет производится с помощью программы Avista Advisor). Полный анализ также должен включать pH воды во время работы образца.

2) Изучение в лабораторных условиях закономерности загрязнения мембран обратного осмоса взвешенными и коллоидными частицами, а также органическими отложениями (биопленка, т.е. колонии микроорганизмов, закрепившиеся и развившиеся на поверхности мембранного модуля).

Для определения загрязненности мембран обратного осмоса взвешенными и коллоидными частицами, каждые 60 мин производится анализ воды по такому показателю как электропроводность (для этого используется прибор АЖК-3122.1.П.2 (таблица 4.1)), а также водородный показатель pH (для измерения pH используется pH-метр (таблица 4.1)).

Электропроводность – это численное выражение способности водного раствора проводить электрический ток. Электрическая проводимость природной воды зависит в основном от концентрации растворенных в ней веществ. Природные воды представляют в основном растворы смесей сильных электролитов. В качестве примера на рисунке 4.1 представлен график зависимости удельной электрической проводимости растворов $(\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$ от концентраций растворенных в ней веществ.

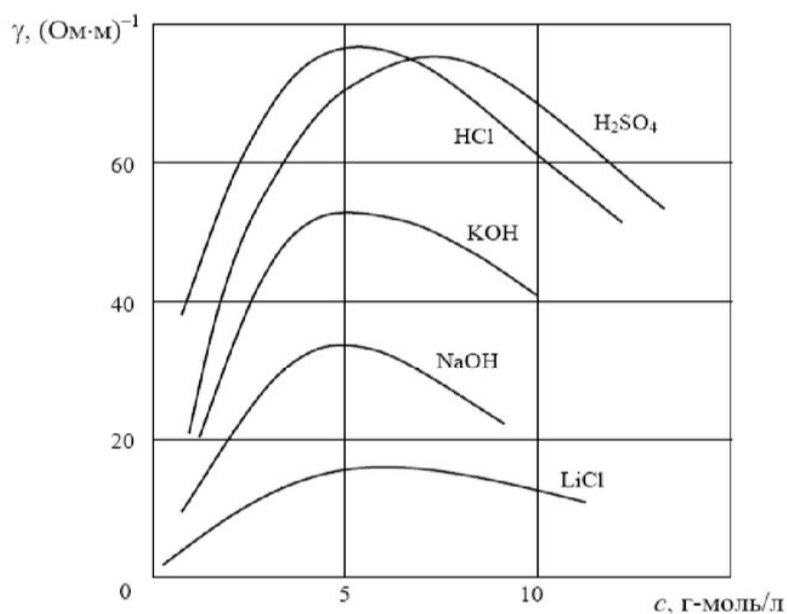


Рисунок 4.1 Зависимости удельной электрической проводимости растворов от концентрации

Для определения загрязненности мембран органическими отложениями производится контроль микроорганизмов в воде по показателю ОМЧ, с

целью выявления значения данного показателя при снижении производительности блока на 15% или увеличение электропроводности фильтрата более чем на 15 %.

Для этого каждые десятые сутки производим отбор проб анализа через пробоотборные точки и проводим анализ по данной технологии:

- берем не менее 500 мл воды с соблюдением асептики (обжигаем краны, используем стерильную посуду);
- делаем посев 10-кратных разведений воды (1:10, 1:100 и т. д) в чашки Петри по 1 мл глубинным методом Коха на МПА (для бактерий), и на сусло-агар (для грибов);
- инкубируем при 37 °С, 24 часа для бактерий и при 24 °С, 2-3 суток для грибов;
- считаем число колоний (1 колония – 1 клетка);
- число колоний (1 колония – 1 клетка) умножают на степень разведения и получают микробное число воды (т.к. объем посева – 1мл, а ОМЧ воды – число микроорганизмов в 1 мл воды).

3) Установление технологических показателей обратноосмотических мембран, построение графиков, сравнение технологических и экономических показателей мембран и установление наиболее подходящей мембраны.

Восстановление рабочих параметров мембран производится в две стадии:

1) Выполняется прямая водная промывка частично обессоленной водой с расходом 15-17 м³/ч в течение 5-10 минут. Данная операция выполняется периодически (каждые 8 часов), она производится с целью смыва накопившихся в мембранах отложений, а также для предотвращения создания условий для быстрого развития колоний микроорганизмов.

2) Регенерацию мембран производит с применением химической промывки. Для этого используют «Блок химической промывки установки обратного осмоса «Шарья Д-64 ХП».

Химическая промывка блока производится в случае:

- нормализованный (приведенный к 25 °С) поток фильтрата (пермеата) снизился на 15% в сравнение с расчетным потоком при нормальном давлении;
- нормализованное значение электропроводности фильтрата увеличилось на 15% (необходимо проверить качество пермеата с каждого корпуса для исключения влияния механического повреждения уплотнения).

По рекомендациям завода-изготовителя установки обратного осмоса сначала рекомендуется выполнить химпромывку со щелочным моющим раствором для удаления органики и биологических материалов (1-2 часа), а затем кислотным моющим раствором для растворения отложений (1-2 часа). Для щелочной промывки используют 0,5% Акварезалт ПМ-20, а для кислотной 8% Акварезалт ПМ-25. В качестве воды для разбавления реагента используется пермеат обратного осмоса. При этом между промывками необходимо включить блок в работу на несколько часов (1-2 часа) чтобы при рабочем давлении гарантировано обеспечить удаление остатков отработавшего щелочного моющего раствора из застойных зон.

4.2. Экспериментальная установка обратного осмоса

С целью установления эффективности работы отдельных обратноосмотических мембран были проведены экспериментальные исследования на модельной установке. Модельная установка представляет собой блок, состоящий из 9 мембранных корпусов, соединенных между собой и смонтированных на одной раме, в каждом корпусе установлено по 6 мембранных элементов (Приложение Б).

Для регулировки соотношения пермеат/концентрат предусматривается установка ручной регулирующей арматуры на линии концентрата. С целью проведения гидравлических промывок блока на линии концентрата установлена пневмоприводная арматура, во время работы через определенные промежутки времени данная арматура открывается, и увеличенный поток воды смывает накопленные загрязнения, данная функция позволяет увеличить межпромывочные интервалы.

Продувка осуществляется частично-обессоленной водой, для этого выполнен отдельный штуцер на входе в установку. В конструкции блоков обратного осмоса предусмотрен пробоотбор из каждого напорного корпуса (аппарата) для анализа целостности мембранных элементов. Так же выполнены проботборные точки исходной воды, пермеата и концентрата. Для оперативного анализа установлен датчик удельной электропроводности на линии пермеата.

В один из мембранных корпусов были загружены обратноосмотические мембраны фирмы «Мембраниум» марка КС8040 С2. Мембраниум - единственная российская компания среди мировых производителей мембранной продукции производящая наноструктурированное мембранное полотно и рулонные мембранные элементы для обратного осмоса (ОО).

В другой мембранный корпус установлены обратноосмотические мембраны фирмы «Hydranautics» марка СРА3-8040. Hydranautics, ставшая в 1987-м году частью мощной японской корпорацией Nitto Denko имеет очень широкую линейку мембранных продуктов и услуг в отрасли. Мембраны обратного осмоса серии СРА считаются отраслевым стандартом для всех критически важных приложений высокой чистоты — от фармацевтической до энергетической отрасли. Серия спирально-навитых мембран обратного осмоса для солоноватых вод СРА доступна в самых разных размерах и обеспечивают непревзойденную производительность с самыми высокими показателями селективности.

В третий мембранный корпус установили обратноосмотические мембраны фирмы Toray марки ТМ720-430. Данная японская компания помимо производства обратноосмотических мембран Toray производит ультрафильтрационные мембраны, модули мембранных биореакторов (МБР) погружного типа, а также реагенты для обратноосмотических систем.

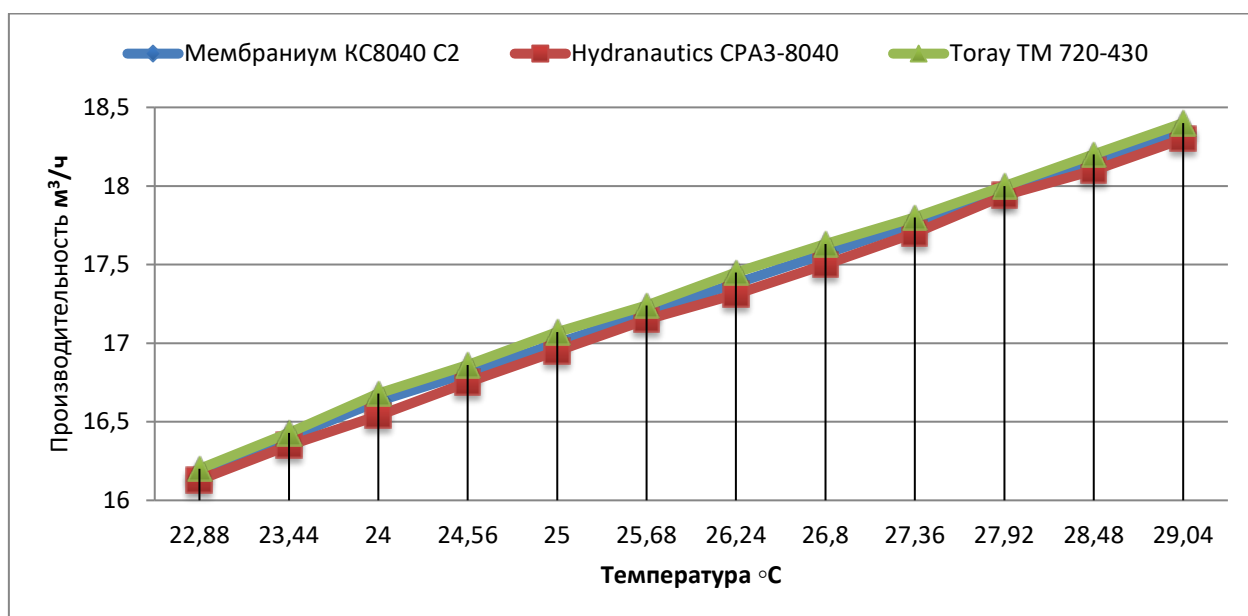
Основные технические характеристики, а также цена данных мембран, указанные в каталогах производителя, представлены в таблице 4.1

Таблица 4.2 - Технические характеристики мембран

Основные технические характеристики	Производитель/марка		
	Мембраниум / KC8040 C2	Hydranautics / CPA3-8040	Toray / TM720-430
Максимальное рабочее давление	4,1 МПа	4,1 МПа	4,1 МПа
Максимальный перепад давления	0,3 МПа	0,3 МПа	0,3 МПа
Рабочая температура	4-45 °С	4-45 °С	4-45 °С
рН при химмойке (очистка)	2-11(1-12)	2-10,8 (1-12)	2-10 (1-11,5)
Максимальный расход	17 м ³ /ч	17 м ³ /ч	17 м ³ /ч
Селективность по NaCl (номинальная)	99,70	89,70	90,70
Площадь активной зоны	37 м ²	37 м ²	40 м ²
Цена	1433BYN (700\$)	1617BYN (790\$)	2151BYN (1011\$)

4.3 Экспериментальные исследования работы мембран

По информации о технических характеристиках мембран, взятой из каталогов данных мембран, можно сделать вывод, что изменение температуры обрабатываемой воды одинаково влияет на производительность данных мембран (при увеличении температуры воды увеличивается производительность блока обратного осмоса), что наглядно представлено на рисунке 4.1.

**Рисунок 4.2 График зависимости производительности от температуры**

При сравнении такого показателя, как селективность по NaCl, а также влияние давления на данный показатель можно сделать вывод, что при снижении давления наблюдается уменьшение селективности, а также что мембраны марки Мембраниум KC8040 C2 обладают большей

селективностью по сравнению с другими. Это наглядно представлено на рисунке 4.3.

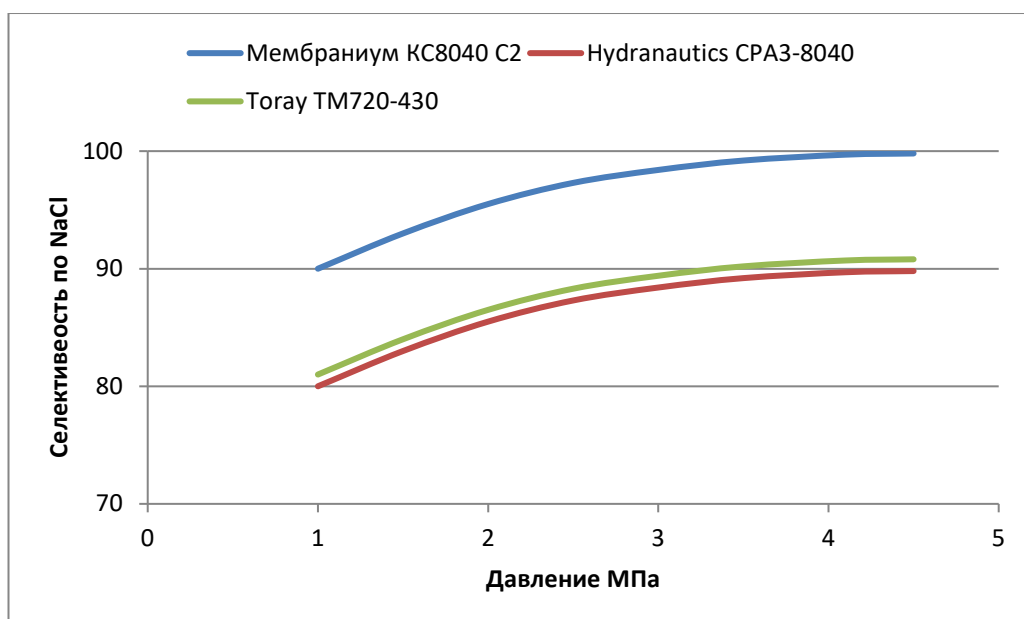


Рисунок 4.3 График зависимости селективности (NaCl) от давления

Также стоит отметить, что мембраны марки Мембраниум KC8040 C2 на 10 - 30% дешевле своих конкурентов, что наглядно можно увидеть на гистограмме, представленной на рисунке 4.3.

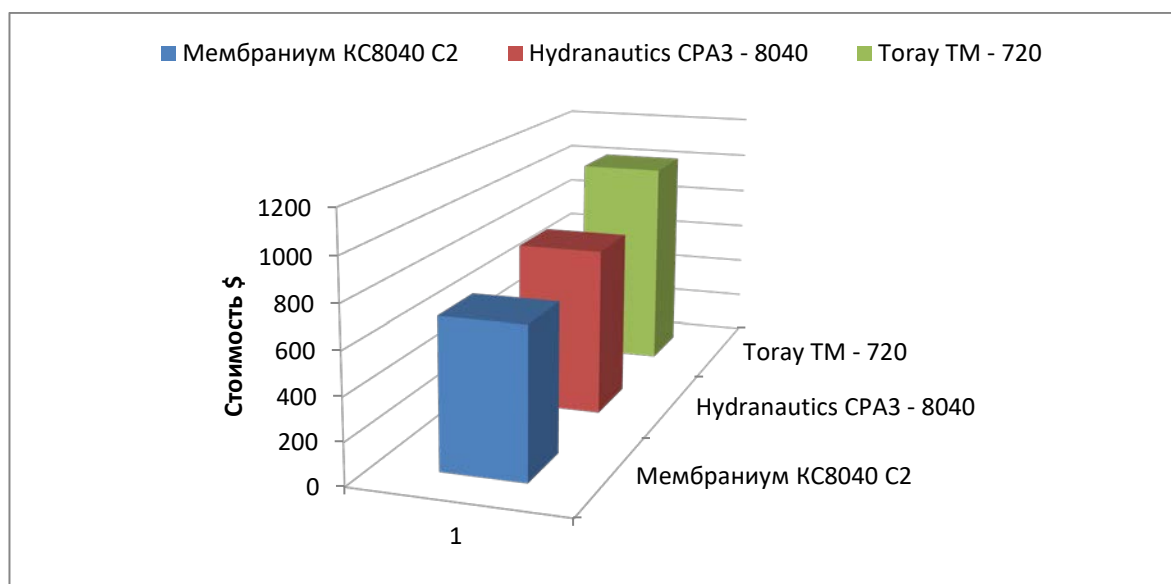


Рисунок 4.4 Гистограмма стоимости мембран

Во время фильтрации на поверхности мембран происходит образование отложений, что приводит к уменьшению удельной скорости процесса, для восстановления пропускающей способности мембран

необходимо производить периодическую промывку водой, а также щелочными и кислотными моющими растворами.

В ходе испытаний было установлена продолжительность работы блока (фильтроцикл), загруженного ранее указанными мембранами, до падения его производительности на 15% (т.е., снижение производительности с 7 м³/ч до 5,9 м³/ч) и построены графики (рисунок 4.5). Из представленного графика мы видим, что наибольшая продолжительность фильтроцикла (109 суток) наблюдается у мембран марки «Мембраниум КС8040 С2», соответственно «Hydranautics CPA3-8040» - 101 суток, «Toray TM 720-430» - 90 суток. Из этого следует, что мембраны марки «Мембраниум КС8040 С2» менее подвержены загрязнению.

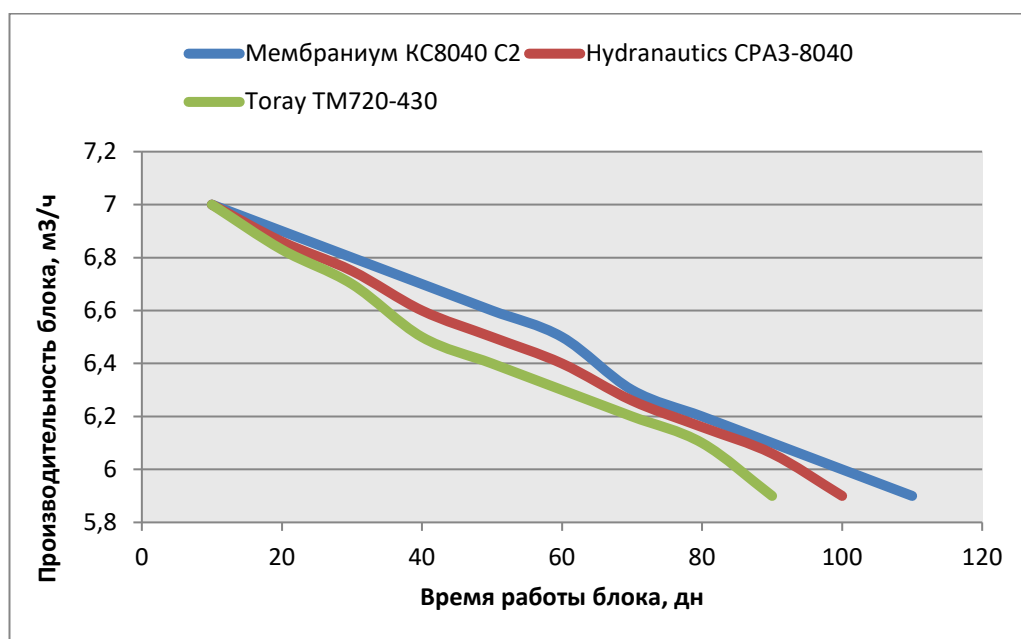


Рисунок 4.5 График зависимости производительности мембран от времени работы блока

При эксплуатации установок обратного осмоса постоянно сталкиваются с таким явлением, как накопление некой слизи внутри мембранного модуля, то есть на поверхности ОО-мембраны. Такая же слизь находится и внутри самой мембраны. Более правильное название этой слизи – биопленка, то есть колонии микроорганизмов, закрепившиеся на поверхности мембранного модуля. При определенных условиях биопленки могут разрушить верхний активный слой мембраны до ее поддерживающего слоя, у которого размер пор соизмерим с размерами бактерий. Процесс закрепления микроорганизмов на поверхности мембраны в основном определяется ее свойствами: материалом, из которого изготовлена мембрана, шероховатостью ее поверхности, гидрофобностью и поверхностным зарядом мембраны. Микроорганизмы, присутствующие в поступающей воде, могут включать в себя бактерии, грибы и дрожжи. Обычно для мониторинга широко практикуется определение общего микробного числа (ОМЧ).

В ходе испытания были выявлены показатели загрязненности мембран микроорганизмами (ОМЧ), для этого в течение 3 месяцев каждые десять суток отбиралась проба для проведения анализа на содержание микроорганизмов. По полученным данным была построена гистограмма (рисунок 4.6). По гистограмме и таблице 4.3 мы видим, что мембраны марки «Мембраниум КС8040 С2» наименее подвержены к загрязнению микроорганизмами.

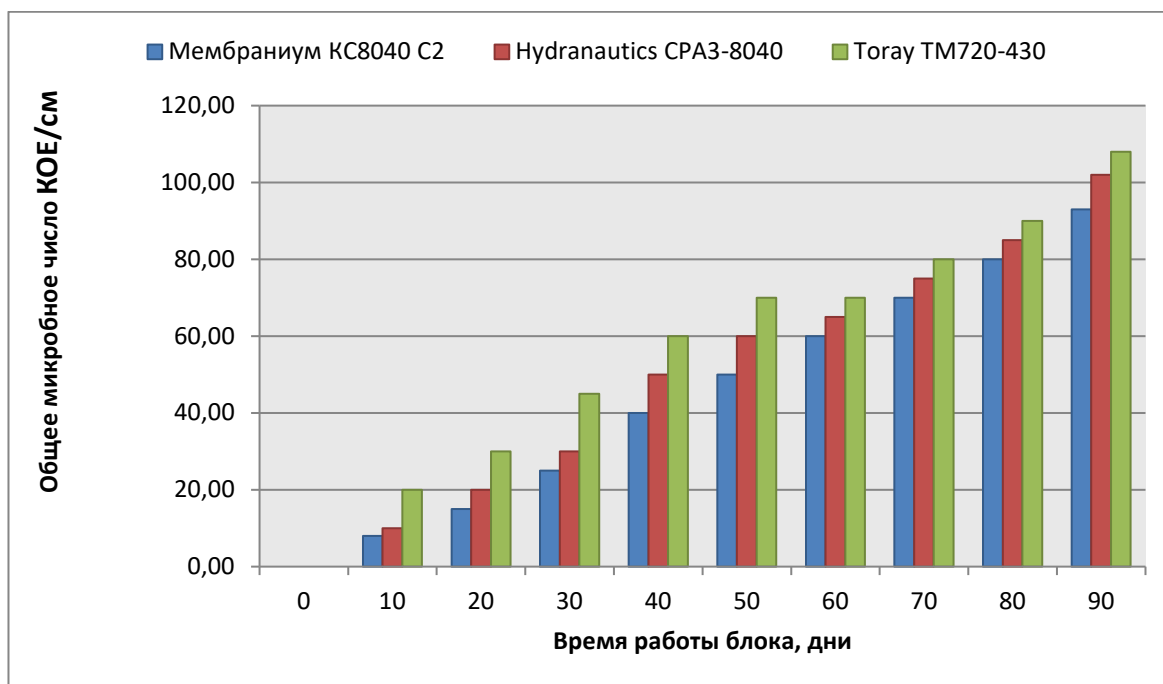


Рисунок 4.6 Гистограмма зависимости загрязнения мембран органическими веществами за промежуток времени

Таблица 4.3 – показатели загрязненности мембран микроорганизмами

Производитель/марка мембраны	ОМЧ, КОЕ/см	Общий органический углерод, мг/л	Бактериальные эндоксины ЕЭ/мл
Мембраниум КС8040 С2	93	0,45	0,23
Hydranautics CPA3-8040	102	0,5	0,25
Toray TM720-430	108	0,54	0,27

Для наглядности потери производительности обратноосматических мембран в % от нормативной величины (за 100 суток) строим гистограммы (рисунок 4.7, 4.8).

На данной гистограмме представлены рассмотренные ранее обратноосматические мембраны марки Мембраниум КС8040 С2, Hudranautics CPA3-8040, Toray TM720-430.

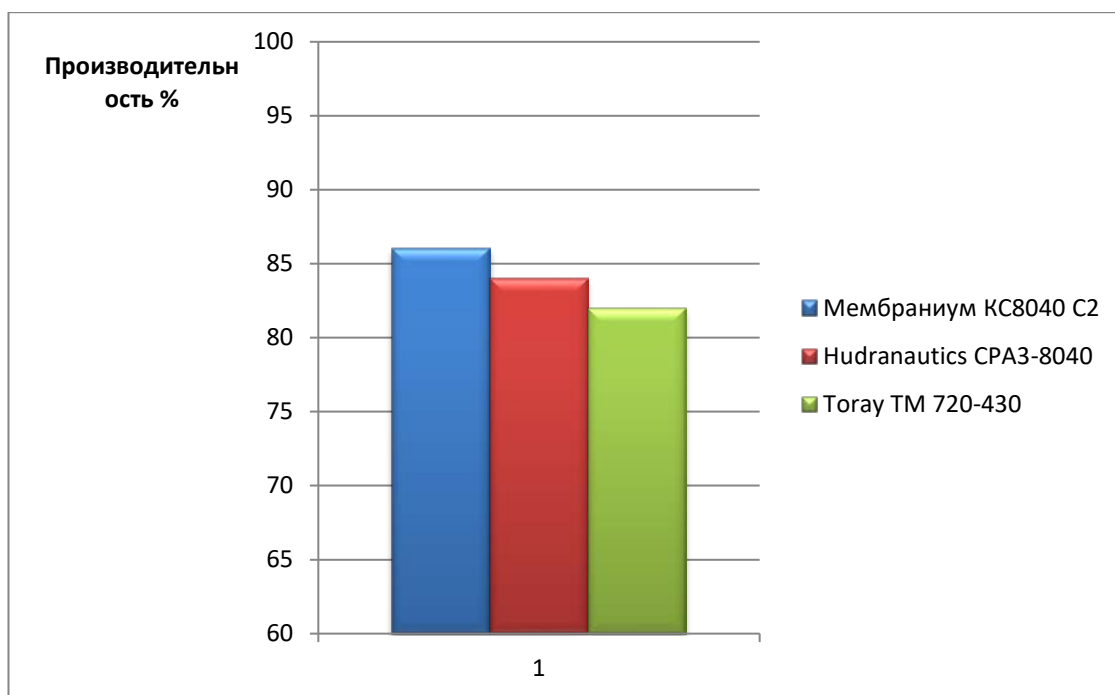


Рисунок 4.7 Гистограмма потери производительности обратноосматических мембран.

Значение потери производительности рассматриваемых обратноосматических мембран представлено на гистограмме (рис 4.8)

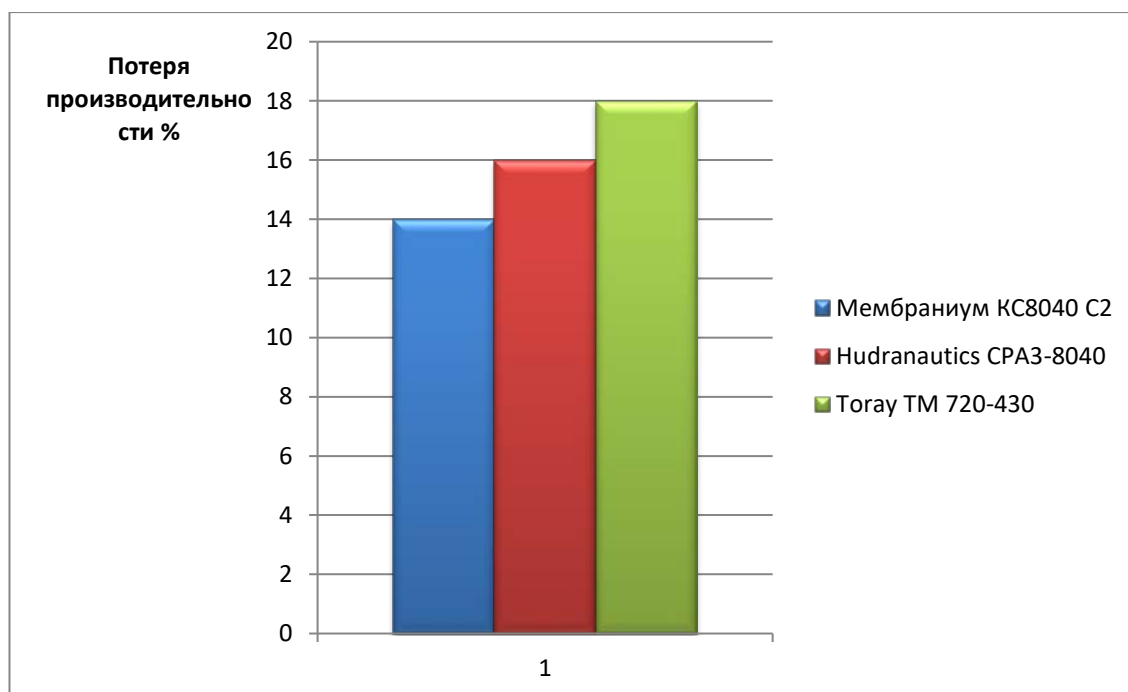


Рисунок 4.8 Гистограмма потери производительности обратноосматических мембран

При проведении химической промывки мембран до полного их восстановления одним и тем же реагентом (щелочная промывка - 0,5%

Акварезалт ПМ-20, кислотная промывка - 8% Акварезалт ПМ-25), для мембран Мембраниум КС8040 С2 потребовалось 1,4 часа щелочной и 1,5 кислотной промывки, для мембран Hydranautics СРА3-8040 потребовалось 1,7 часа щелочной и 1,7 кислотной промывки и для мембран Toray ТМ720-430 1,6 часа щелочной и 1,7 кислотной промывки соответственно.

Из этого следует что для регенерации мембран марки Мембраниум КС8040 С2 требуется меньшее количество реагента чем для других, что снижает затраты на их эксплуатацию.

4.4 Особенности пуско-наладочных работ установки мембранного осмоса

В ходе исследования по разработанной двухступенчатой схеме обратного осмоса, представленной в **приложении А**, были произведены пусконаладочные работы в соответствии с инструкцией завода изготовителя и опытным путем было установлено значение удельной электропроводимости мкСМ/см воды после первой и второй ступени обратного осмоса соответствующей необходимому эффекту очистки (требуемому химическому составу).

Блок обратного осмоса первой ступени предназначен для частичного обессоливания предварительно очищенной воды для снабжения водой потребителей второй категории, а также для дальнейшего получения обессоленной воды на второй ступени для снабжения водой потребителей первой категории. Пермеат блока обратного осмоса первой ступени служит питательной (исходной) водой для блока обратного осмоса второй ступени. Блок обратного осмоса первой ступени «Шарья МП-46-ОО» изготовлен и принят в соответствии с требованиями технического задания БТП 0200.001.001ТЗ. Климатическое исполнение УХЛ.4.2. по ГОСТ 15150. Условия эксплуатации: температура окружающей среды плюс 10 ...плюс 35 0С, относительная влажность воздуха не более 80 % (при температуре плюс 25 0С).

Основные параметры и характеристики:

- Количество аппаратов (корпусов) обратноосмотических - 9 шт;
- Тип мембран элементов рулонных обратноосмотических - К 8040-С2;
- Количество элементов рулонных обратноосмотических в один корпус- 6 шт;
- Количество элементов рулонных обратноосмотических всего на блок - 54 шт;
- Периодичность замены мембран - 4-5 лет*;
- Максимально-допустимая температура воды (при химпромывке), не более + 35°С;
- Рабочая температура исходной воды - +20 - +25°С;
- Расход исходной воды - 61,33 м3/ч**;
- Производительность по пермеату - 46 м3/ч**;
- Расход концентрата - 15,3 м3/ч**;
- Давление рабочие ($P_{\text{раб}}$) при $T_{\text{в}}=25^{\circ}\text{C}$ – 1,4 МПа;

- Максимально-допустимое рабочее давление при $T_{в} = 25^{\circ}\text{C}$ – 1,5 МПа;
- Минимальное рабочее давление – 1,0 МПа;
- Перепад давления на аппаратах 1 ряда (аварийный) – 0,1-0,25(0,3) МПа;
- Перепад давления на аппаратах 2 ряда (аварийный) – 0,1-0,25(0,3) МПа;
- Удельная электропроводность пермеата - не более 15 мкСм/см*;
- Установленная мощность – 30 кВт;
- Категория сейсмостойкости по НП-031-01 – III;
- Класс безопасности – 4;
- Категория обеспечения качества – 4;
- Срок службы – 50 лет;
- Габариты (LxVxH) – (7000x1458x2111);
- Масса блока (пустого/заполненного) – 2692/5700 кг;
- * - точное значение зависит от фактических условий эксплуатации;
- ** - точное значение устанавливается при ПНР.

Для наладки блока обратного осмоса и установления таких параметров как, расход исходной воды, производительность по пермеату, расход концентрата, удельная проводимость пермеата устанавливается при пусконаладочных работах (ПНР). Программа проведения пусконаладочных работ на блоке обратного осмоса разработана на основании проектной, конструкторской и нормативно-технической документации, документации заводов-изготовителей оборудования. Порядок проведения пусконаладочных работ представлен в таблице 4.4 (схема проведения пусконаладочных работ представлена в приложении В)

Таблица 4.4 - Порядок проведения пусконаладочных работ

№ Шага	Содержание шага
1	Открыть арматуру 1AA001,002, 2AA001,002, 3AA001,002, 20 (21,22,23,24,25,26)AA001,002 31(32,33,34,35,36) AA001
2	Открыть арматуру 11(12,13)AA101, 21(22,23,24,25,26)AA101 31(32,33,34,35,36)AA101,103,107,108,110
3	Открыть пробоборник на корпусах 31(32,33,34,35,36)AA002-010 на трубопроводе пермеата 31(32,33,34,35,36)AA315, на трубопроводе концентрата 31(32,33,34,35,36)AA313
4	Включить насосный агрегат 70AP001,002
5	Заполнить осветленной водой блок 31(32,33,34,35,36)
6	Контролировать заполнение системы водой по появлению воды в пробоборниках. При появлении устойчивой струи воды (без пузырей воздуха) закрыть арматуру 31 (32,33,34,35,36) AA002,003,004,005,006,007,008,009,010; 31(32,33,34,35,36) AA313; 31(32,33,34,35,36)AA315.
7	Отключить насосный агрегат 70AP001,002
8	Закрыть арматуру

	31(32,33,34,35,36)AA001 31(32,33,34,35,36)AA110,103,108
9	Выполнить замачивание мембран в корпусах не менее двух часов
10	После замачивания мембран открыть 31(32,33,34,35,36)AA001 31(32,33,34,35,36)AA110
11	В течении первого часа проводится отмывка мембран от консерванта, открыв 31(32,33,34,35,36)AA105 со сбросом пермеата в бак БХП для слива на дренаж
12	Открыть регулятор в среднее положение (70%) 31(32,33,34,35,36) AA201
13	Установить производительность насосного агрегата 31(32,33,34,35,36) AP001 на 8,33 кг/с
14	Включить насос подачи осветленной воды с производительностью 10 кг/с
15	Выполнить развоздушивание насосного агрегата 31(32,33,34,35,36) AP001 через вентиляционное отверстие
16	Включить питание блоков УОВ
17	Включить насосный агрегат 31(32,33,34,35,36)AP001
18	Включить в работу блок дозирования биоцида и антискалянта
19	Выполнить измерение расхода расходомеров «Fluxus F601» насосного агрегата 31(32,33,34,35,36)AP001
20	Увеличить производительность насоса подачи осветленной воды до 15,0 кг/с
21	Ступенчато увеличить производительность насосного агрегата 31(32,33,34,35,36) AP001 до 13,2 кг/с
22	Выполнить измерение расхода расходомеров «Fluxus F601» насосного агрегата 31(32,33,34,35,36) AP001
23	Увеличить производительность насоса подачи осветленной воды до 20,0 кг/с
24	Ступенчато с шагом 1-2% прикрывая регулятор 31(32,33,34,35,36) AA201 и увеличивая производительность насосного агрегата 31(32,33,34,35,36) AP001 достигнуть расхода пермеата (16,6-17,5) кг/с
25	Выполнить: - измерение расхода насосного агрегата 31(32,33,34,35,36) AP001 контроль по 31(32,33,34,35,36) CF001 - виброобследование насосного агрегата 31(32,33,34,35,36) AP001 - измерение величины рабочего тока на электродвигателе насосного агрегата 31(32,33,34,35,36)AP001
26	Контролировать достижение удовлетворительного уровня электропроводности после блока УОО-1 31(32,33,34,35,36) не более 8,83 мкСм/см (контроль по 31,32,33,34,35,36) CQ001)
27	Открытием/закрытием арматуры 31(32,33,34,35,36) AA315,316 выполнить отбор проб пермеата на выходе УОО-1 31(32,33,34,35,36)
28	Проконтролировать величину электропроводности пермеата в отобранных пробах и сравнить с показаниями датчиков С
29	Проконтролировать на соответствие данных: - давление на входе в блоки тонкой очистки 21 (22,23,24,25,26) AT001(002) контроль по датчикам 21 (22,23,24,25,26) CP001; - давление на всасе и напоре насосного агрегата 31(32,33,34,35,36) AP001

	контроль по датчикам 31(32,33,34,35,36) CP001(002); - давление концентрата до и после регулятора 31(32,33,34,35,36)AA201 контроль по датчику 31(32,33,34,35,36) CP005,006; - давление концентрата с первого ряда блока УОО-1 31(32,33,34,35,36), контроль по датчику 31(32,33,34,35,36) CP004; - давление пермеата на выходе из УОО-1 31(32,33,34,35,36), контроль по датчику 31(32,33,34,35,36) C P003; - расход исходной воды на УОО-1 31(32,33,34,35,36), контроль по датчику 31(32,33,34,35,36) CF001; - расход пермеата на выходе из УОО-1 31(32,33,34,35,36), контроль по датчику 31(32,33,34,35,36) CF002;
30	Ступенчато уменьшая производительность отключить насосный агрегат 31(32,33,34,35,36) AP001, 10GDB70 AP001(002)
31	Закрыть арматуру 11(12,13) AA001(002)
32	Закрыть арматуру 20 AA001,002 21 (22,23,24,25,26) AA001,002, 31(32,33,34,35,36) AA001
33	Закрыть арматуру 21(22) AA101, 31(32,33,34,35,36) AA101,105,107,110

В ходе проведения пусконаладочных работ путем отбора проб и анализа химического состава воды после каждого этапа очистки, а также проведением замеров напорно-расходной характеристики (расходомер, манометр) была подтверждена:

- работоспособность насосных агрегатов на соответствие параметрам;
- работоспособность блоков УФ-обеззараживания в режиме дезинфекции воды и промывки;
- работоспособность блоков тонкой очистки в режиме очистки воды от взвешенных и коллоидных частиц размером более 5 мкм;
- работоспособность блоков декарбонизации в режиме достижения концентрации углекислоты в декарбонизированной воде $\leq 0,005 \text{ кг/м}^3$ (5мг/л);
- работоспособность установок обратного осмоса УОО-1 в режиме продувки с использованием технических средств СКУ ВП;
- работоспособность установок обратного осмоса УОО-1 в режиме фильтрации с достижением качества пермеата и концентрата на выходе УОО-1, в соответствии с параметрами;
- работоспособность установок обратного осмоса УОО-1 в режиме химической промывки (вытеснение, рециркуляция через первый и второй ряды, замачивание) с использованием технических средств СКУ ВП;
- работоспособность установок обратного осмоса УОО-1 в режиме отмывки (споласкивания) блоков после химических промывок с использованием технических средств СКУ ВП;
- работоспособность установок обратного осмоса УОО-1 при останове с использованием технических средств СКУ ВП;
- работоспособность установок обратного осмоса УОО-2 в режиме продувки с использованием технических средств СКУ ВП;

- работоспособность установок обратного осмоса УОО-2 в режиме фильтрации с достижением качества пермеата и концентрата на выходе УОО-1, в соответствии с параметрами;

- работоспособность установок обратного осмоса УОО-2 в режиме химической промывки (вытеснение, рециркуляция через первый и второй ряды, замачивание) с использованием технических средств СКУ ВП;

работоспособность установок обратного осмоса УОО-2 в режиме отмывки (споласкивания) блоков после химических промывок с использованием технических средств СКУ ВП;

- работоспособность установок обратного осмоса УОО-2 при останове с использованием технических средств СКУ ВП.

Также были установлены следующие химические показатели работы системы, представленные в таблице 4.5

Таблица 4.5 - Химические показатели работы системы

Показатель	Единица измерения	Значение
Исходная вода из поверхностного источника, поступающая на блок водоподготовки		
Na+K	мг/дм ³	12,67
Кальций	мг/дм ³	64,9
Магний	мг/дм ³	16,4
Алюминий	мг/дм ³	0,05
Марганец	мг/дм ³	отсутствует
Железо общее	мг/дм ³	0,05
Карбонат	мг/дм ³	2,2
Сульфаты	мг/дм ³	45
Хлориды	мг/дм ³	16,67
Хлор активный (Cl ₂)	мг/дм ³	отсутствует
Гидрокарбонат	мг/дм ³	234
Свободная углекислота, CO ₂	мг/дм ³	16,17
Кремневая кислота	мг/дм ³	10,10
Нитраты, NO ₃	мг/дм ³	8,4
Мутность	мг/дм ³	0,5
Перманганатная окисляемость	мгО ₂ /дм ³	3
Жесткость общая	мг-экв/ дм ³	4,1
Щелочность общая	мг-экв/ дм ³	3,18
Нефтепродукты	мг/дм ³	отсутствуют
Солесодержание	мг/цдм ³	345
рН при фильтрации	ед. рН	
рН при хим. очистке	ед. рН	
Температура	С	+20-+25
Общее микробное число	КОЕ/мл	
Пермеат после блока УОО-1		
Жесткость общая, Ж _о	мг-экв/ дм ³	0,04
Щелочность общая, Щ _о	мг-экв/ дм ³	0,03
Удельная электропроводимость, χ	мкСм/см	7
Водородный показатель, рН	ед. рН	5,25-5,56
Свободная углекислота, CO ₂	мг/дм ³	17,01

Хлориды, Cl	мг/дм ³	0,11
Сульфаты, SO ₄	мг/дм ³	0,30
Кремнекислота растворенная, SiO ₂	мг/дм ³	0,10
Солесодержание, TDS	мг/дм ³	3,87
Общий органический углерод	мкг/дм ³	120
Концентрат (второго ряда), после блоков УОО-1		
Водородный показатель, pH	ед. pH	8,0
Жесткость общая, Ж _о	мг-экв/ дм ³	16,5
Щелочность общая, Щ _о	мг-экв/ дм ³	12,7
Кальций, Ca	мг/дм ³	230
Магний, Mg	мг/дм ³	60
Хлориды, Cl	мг/дм ³	60
Сульфаты, SO ₄	мг/дм ³	181
Солесодержание, TDS	мг/дм ³	1400
Индекс Ланжелье		+2,6
Вода, после декарбонизаторов		
Свободная углекислота, CO ₂	мг/дм ³	5
Исходная вода, после предварительной очистки, поступающая на блоки УОО-2		
Na+K	мг/дм ³	1,75
Кальций	мг/дм ³	0,6
Магний	мг/дм ³	0,2
Алюминий	мг/дм ³	отсутствует
Марганец	мг/дм ³	отсутствует
Железо общее	мг/дм ³	отсутствует
Карбонат	мг/дм ³	0,06
Сульфаты	мг/дм ³	0,30
Хлориды	мг/дм ³	0,11
Хлор активный (Cl ₂)	мг/дм ³	отсутствует
Гидрокарбонат	мг/дм ³	6,30
Свободная углекислота, CO ₂	мг/дм ³	0,05
Кремневая кислота	мг/дм ³	0,10
Нитраты, NO ₃	мг/дм ³	0,5
Мутность	мг/дм ³	0,001
Перманганатная окисляемость	мгО ₂ /дм ³	3
Жесткость общая	мг-экв/ дм ³	0,04
Щелочность общая	мг-экв/ дм ³	0,1
Нефтепродукты	мг/дм ³	отсутствуют
Солесодержание	мг/цдм ³	9,77
Коллоидный индекс (SDI)	единицы	1
pH при фильтрации	ед. pH	8,3
pH при хим. очистке	ед. pH	2-11,5
Температура	С	20-25

Таблица 4.6 – Качество воды после заключительного этапа очистки (УОО-2)

Показатель	Единица измерения	Пермеат после УОО-2	Требуемое качество питательной воды
Натрий Na	мг/дм ³	0,005	≤0,005
Магний Mg	мг/дм ³	0,01	≤0,01
Кальций, Ca	мг/дм ³	0,02	≤0,1
Жесткость общая, Ж _о	мг-экв/ дм ³	отсутствует	отсутствует
Карбонаты, CO ₃	мг/дм ³	0,001	≤0,1
Гидрокарбонат, HCO ₃	мг/дм ³	0,15	≤0,5
Удельная электропроводимость, χ	мкСм/см	0,67	≤1
Водородный показатель, pH	ед. pH	8	8±0,1
Свободная углекислота, CO ₂	мг/дм ³	0,05	≤0,1
Хлориды, Cl	мг/дм ³	0,005	≤0,005
Сульфаты, SO ₄	мг/дм ³	0,005	≤0,005
Кремнекислота растворенная, SiO ₂	мг/дм ³	0,01	≤0,01
Общий органический углерод	мг/дм ³	≤0,1	≤0,1
Солесодержание, TDS	мг/дм ³	0,33	0,33
Нитраты, NO ₃	мг/дм ³	0,05	≤0,1
Мутность	мг/дм ³	0,001	0,001
Железо общее	мг/дм ³	отсутствует	отсутствует

В ходе проведения пусконаладочных работ было установлено, что на первой ступени обратного осмоса, в режиме фильтрации, при среднем расходе на один блок 17,4 кг/с при соблюдении необходимого химического состава удовлетворительный уровень электропроводности пермеата равен 7 мкСм/см (максимальный уровень электропроводности пермеата УОО-1 равен 20 мкСм/см), для второй ступени обратного осмоса в режиме фильтрации при среднем расходе на один блок 14,7 кг/с удовлетворительный уровень электропроводности пермеата равен 0,67 мкСм/см (максимальный 4 мкСм/с).

4.5 Выводы

Для бесперебойной и эффективной работы ТЭЦ необходимо применение водно-химического режима, который обеспечит работу станции без повреждений и снижения производительности, вызванных коррозией и отложений на внутренних поверхностях оборудования. Для этого необходимо использовать глубоко обессоленную питательную воду для котлов высокого давления.

В настоящее время в спецводоочистке наблюдается вытеснение ионного обмена таким методом как обратный осмос. Особенно сфера

применения обратного осмоса расширяется в энергетике. Это вызвано его техническими преимуществами, экономическими причинами и соображениями экологической безопасности. Так как использование ионообменных методов требует периодической регенерации ионообменного материала, возникает потребность в использовании регенерационного раствора и его утилизации, что может создать экологическую проблему.

Так, интерес к использованию обратного осмоса при подготовке воды для паровых котлов вызван тем, что его внедрение может позволить значительно (на 90 %) сократить количество потребляемых реагентов (кислот, щелочей, хлорида натрия) и одновременно избавиться от проблем, связанных с утилизацией сточных вод с высоким содержанием химических веществ.

В данном исследовании была рассмотрена работа мембран трех разных производителей в экспериментальной модельной установке с целью установления их технико-экономических показателей. В ходе испытаний мы получили следующие данные:

1. Рассмотрены обратноосмотические мембраны Мембраниум КС8040 С2 на ряде обратного осмоса первой ступени. Установлено, что в условиях обработки воды специальными реагентами, значительных отложений и биообрастания не происходит. За цикл фильтрации (до промывки) производительность мембраны уменьшается на 14 %. Загрязненность органическими веществами (общее микробное число) за срок наблюдения (36 суток) составляет 96 КОЕ/см.

2. Рассмотрены обратноосмотические мембраны Hudranautics марки СРАЗ-8040 на ряде обратного осмоса первой ступени. Установлено, что в условиях обработки воды специальными реагентами, значительных отложений и биообрастания не происходит. За цикл фильтрации (до промывки) производительность мембраны уменьшается на 16 %. Загрязненность органическими веществами (общее микробное число) за срок наблюдения (36 суток) составляет 100 КОЕ/см.

3. Рассмотрены обратноосмотические мембраны Toray марки ТМ720-430 на ряде обратного осмоса первой ступени. Установлено, что в условиях обработки воды специальными реагентами, значительных отложений и биообрастания не происходит. За цикл фильтрации (до промывки) производительность мембраны уменьшается на 18 %. Загрязненность органическими веществами (общее микробное число) за срок наблюдения (36 суток) составляет 105 КОЕ/см.

4. Таким образом, путем сравнения основных технических характеристик обратноосмотических мембран, представленных в каталоге производителя (таблица 4.1, рисунок 4.1, 4.2, 4.3) а также результатов, полученных в ходе проведения экспериментальных исследований на модельной установке, установлено что обратноосмотические мембраны «Мембраниум КС8040-С2» при относительно равных технических характеристиках и более низкой стоимости по сравнению с мембранами других производителей имеет большую селективность по NaCl, имеет

лучшую стойкость к отложениям и загрязнению органическими веществами, а также отличается более низкой стоимостью.

К тому же в связи с тем, что данная мембрана имеет лучшую стойкость к отложениям и органическим веществам, (рисунок 4.5, 4.6, таблица 4.3), то затрачивается меньше регенерационных растворов и меньшие затраты на утилизацию сточных вод с высоким содержанием химических веществ. Такого качества воду традиционно получают помощью водород-натрий-катионированием и последующим анионированием на фильтрах.

Итак, суммарное количество полученных показателей показывает неоспоримое преимущество мембран марки КС8040 С2 над зарубежными аналогами при обработке воды поверхностных источников РБ, прежде всего рек равнинного характера и болотного питания.

Список литературы

1. В.А. Чиж, Н.Б. Карницкий, С.М. Денисов, А.В. Нерезько. Водоподготовка и водно-химический режим ТЭС и АЭС 2015г.
2. Л.И. Дорофеева. Учебное пособие «Разделение и очистка мембранными, обменными и электрохимическими методами» 2008г.
3. Обратный осмос и реагенты [Электронный ресурс]. Режим доступа - http://uasol.com/user_files/osmos_guide.pdf. Дата доступа – 15.09.2019.
4. А.А. Шагарова, В.И. Горбаченко. Анализ выбора полупроницаемых мембран в зависимости от технологических параметров процесса ультрафильтрации 2017г.
5. Е.Н. Груздев, Е.Н. Стариков. Водоподготовительная установка с применением мембранной технологии (ЗАО «Техпроект»).
6. Н.А. Кононенко, Н.П. Березина. Методы исследования и характеристика синтетических полимерных мембран.
7. В.Е. Космодамианский, А.М. Момедова. Научный журнал «Энергосбережение и водоподготовка» статья «Обратный осмос и схема глубокого обессоливания добавочной воды на ТЭС. 2010г»
8. Водоподготовительные установки и водно-химический режим ТЭС, условия создания, нормы и требования. Некамерческое Партнерство «Инновации в электроэнергетике». Москва. 2008г.
9. KAUFMANN technology. «Ультрафильтрация. Руководство по эксплуатации» [Электронный ресурс]. Режим доступа - <https://www.kaufmanntec.ru/images/ultraf.pdf> Дата доступа – 15.09.2019.
10. О.Ф. Парилова, И.Г. Устимова. Научный журнал «Перспектива XXI» статья «Ультрафильтрация в водоподготовке: технические, технологические и экономические преимущества и недостатки. 2016г.»
11. Д.В. Спицов. Увеличение выхода фильтрата – основная задача совершенствования мембранных технологий водоподготовки. Научный журнал «Успехи современной науки и образования» 2017г, Том 5, №2 - стр. 55-58
12. С.Ю. Ларинов, А.А. Пантелев, В.Б. Смирнов, В.В. Бобинкин «Особенности режимов работы комбинированных систем водоподготовки» XI Международный водно-химический форум. 2008 г. Стр. 16-23.
13. Информационный портал «WaterNet» статья «Обратный осмос: химия и технология» Режим доступа - <http://waternet.ua/news/newsletter/152/> Дата доступа – 15.09.2019.
14. И.Г. Чагаев, Л.Ф. Комарова. «Создание осажденной мембраны на основе минеральных и органических компонентов для удаления соединения железа из подземных вод». Ползуновский вестник № 4 Т.1 М: 2015г. – стр 1-4.
15. А.В. Жога, З.Р. Багаутдинова, Н.Е. Пудова. Совершенствование микроскопической методики определения оптимального типа и дозы антискалянта для предотвращения образования осадка на

обратноосмотических мембранах. Научный журнал «Успехи в химии и химической технологии. Том 28. М: 2014. №5, стр. 1-4

16. Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине для специальности: 1-31 80 01 Биология. БГУ. 2018 г.

17. Н.А. Шиненкова, А.А. Поворов, Л.В. Ерохина, А.Ф. Наследникова, В.П. Дубяга, В.Г. Дюбенко, И.И. Шишова, Н.И. Солодихин. Применение микро-ультрафильтрации для очистки вод поверхностных источников Вестник московского университета серия «Химия». № 4. Г Владимир. ЗАО НТЦ «Владипор» 2005 г, стр 21-25.

18. С.Л. Громов, А.А. Пантелеев, А.Р. Сидоров. Современные технологии водоподготовки в промышленности и энергетике. АКВА – Magazine, М: 2006г. № 6, стр. 26-30.

19. С.Л. Громов, А.А. Пантелеев, А.Р. Сидоров. Опыт применения интегрированных мембранных технологий. Материал конференции International Water Association – Мембранные технологии в водоподготовке и очистке в теплоэнергетике. М: 2006г, - стр 34-41

20. А.Н Самодуров, С.Е. Лысенко, С.Л. Громов, А.А. Пантелеев, Е.Б. Федосеев. Использование метода обратного осмоса для водоподготовки в теплоэнергетике. 2006г.

21. С.Л. Громов, М.П. Ковалев, А.Р. Сидоров, А.Н Самодуров, С.Е. Лысенко, А.А. Пантелеев Использование современных интегрированных мембранных технологий для улучшения качества питательной воды на предприятиях энергетики. Журнал «Водоочистка», часть 1, № 8, М: 2007г - стр. 33-40.

22. С.Л. Громов, М.П. Ковалев, А.Р. Сидоров, А.Н Самодуров, С.Е. Лысенко, А.А. Пантелеев журнал Водоочистка 2008г., № 2 «Использование современных интегрированных мембранных технологий для улучшения качества питательной воды на предприятиях энергетики» стр. 32-47.

23. С.Л. Громов журнал Энергосбережение и водоподготовка 2004г., № 5 статья «Критические параметры работы обратного осмоса и противоточного ионного обмена». - стр. 26-28.

24. А.Г. Перов «Современные высокоэффективные технологии очистки питьевой воды с применением мембран: обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация». Современные высокоэффективные технологии очистки питьевой технической воды. Издательство АСВ 2009г. – стр. 4-35.

25. А.А. Пантелеев, Б.Е. Рябчиков, О.В. Хоружий, С.Л. Громов, А.Р. Сидоров «Технологии мембранного разделения в промышленной водоподготовке» ДеЛи плюс, 2012г. Стр.- 429.

26. Научный журнал «Химия и химическая технология 2010г. Том 53» статья С.Л. Захаров, Е.В. Белякова «Работа мембран обратного осмоса». - стр 66-68.

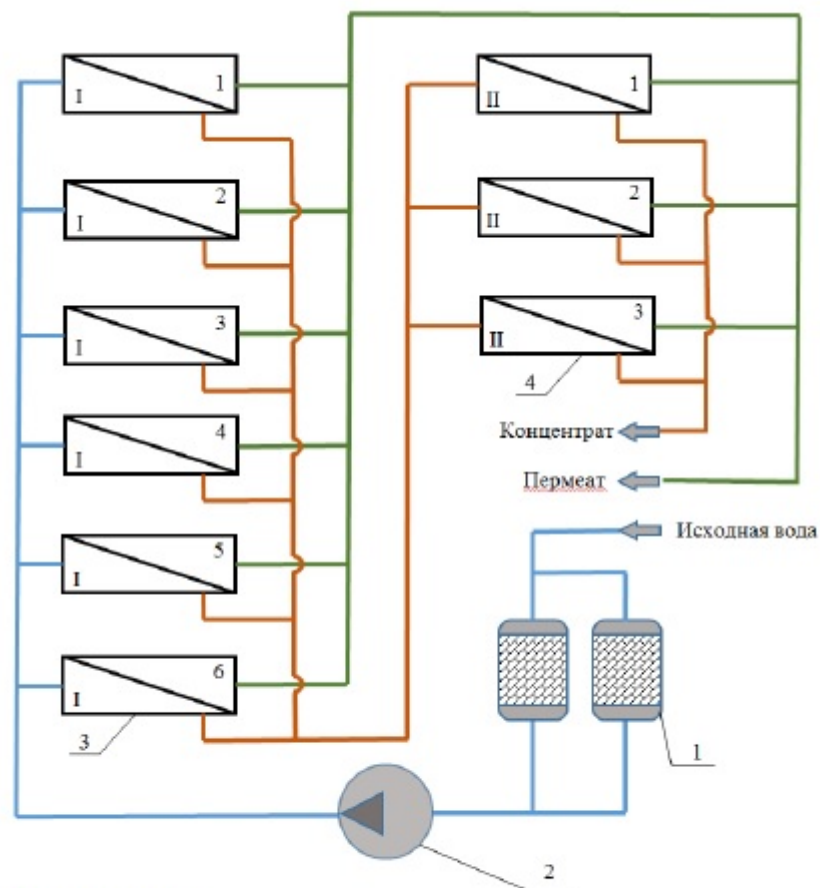
27. Известия ТРТУ. Специальный выпуск. Статья Г.А. Галимова, А.Н. Ключарев, А.Н. Королев. «Изменение водородного показателя рН при водоочистке методом обратного осмоса». 2001г. –стр 214-215.

28. Научный журнал «Новое в российской энергетике № 10 2012г.» статья В.Ф. Очков, С.С. Гавриленко. «Комплексное применение мембранных технологий очистки воды в энергетике на примере адлерской АЭС» - стр. 26-34.
29. Научный вестник Ульяновской ГСХА им. П.А. Столыпина №12, 2013г. статья О.С. Камалдинова, И.Э. Бугранова, Г.М. Биказакова. «Опреснение воды обратным осмосом». – стр 179-183.
30. Журнал «Энергосбережение и водоподготовка №5 2006г.» Н.Н. Верхошенцева, Г.И. Давлетшина «Опыт эксплуатации установок обратного осмоса в системах водоподготовки энерготехнических и металлургических объектов». - стр. 25-27.
31. Chemical engineering department «Report on reverse osmosis», submitted by ansa Aman Ullah, Sidra Yasin 12/26/2014. P 45-48.
32. Dow «Water & Process Solutions» FILMTEC Reverse Osmosis Membranes. Technical Manual. - p 7-178.
33. Theoretical materials «Lanxess» Principles of Reverse Osmosis Membrane Separation. November 2013. - p 3-8.
34. Scientific journal «Feature» Filtration+Separation September/October 2012 (Water treatment). - p 30-33.
35. Manual «HygroMatic» Reverse Osmosis plants. 2018. - p 5-43.
36. Theoretical materials «Puretec» Basics of Reverse Osmosis. Puretec 2016. – p 2-14.
37. Scientific journal «IDROBIOS just water » Reverse Osmosis. 2014. – p34-39.
38. University of Nebraska - Lincoln Extension, institute of Agriculture and Natural Resources scientific journal «NebGuide» Drinking water treatment: Reverse Osmosis (Revised September 2014).
39. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. December 2013. Sunil J. Wimalawansa «Purification of Contaminated Water with Reverse Osmosis: Effective Solution of Providing Clean Water for Human Needs in Developing Countries». - p 1-4.
40. Technical documentation «Pacific Northwest National Laboratory. Prepared for U.S. Department of Energy. Reverse Osmosis Optimization.» August 2013.
41. International Journal «Water Treatment NOTES» of Cornell Cooperative Extension, College of Human Ecology Barbara Kneen, Ann Lemley and Linda Wagenet « Reverse Osmosis treatment of Drinking Water» November 2005. p 3-19.
42. Reverse Osmosis Drinking Water System Installation, Operation and Service Manual. 2004. Water Quality Association. p 4-16.
43. Scientific journal «Membrane Technology. Solutions» Operation, Maintenance and Handling Manual for membrane elements. Borsig membrane technology GMBH. 01/2019. – p 5-50.
44. Desalination and Water Purification Research and Development. Report No. 117 «Microfiltration/Reverse Osmosis. Ocean Water Desalination. Pilot Plant Project» September 2007. – p 55-95.

45. International Scholarly Research Network ISRN Materials Science Volume 2011. Review Article «Reverse Osmosis and Membrane Distillation for Desalination of Groundwater: A Review». International Scholarly Research Network. – p 2-8.

Приложение А

Принципиальная технологическая схема блока обратного осмоса 1-й, 2-й ступени



Условные обозначения:

- 1 – фильтр тонкой очистки;
- 2 – высоконапорный насос;
- 3 – напорный корпус первого ряда;
- 4 – напорный корпус второго ряда.

I, II – номер ступени УОО, 1-6 – номера блоков УОО

