

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

Тепловые электрические станции

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
Е.А.Бойко
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 20 ____ г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.01 - «Теплоэнергетика и теплотехника»
Проект реконструкции ВПУ Красноярской ТЭЦ-2

Руководитель _____ старший преподаватель Т.И. Охорзина

подпись, дата должност, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ Е.М.Киселева

подпись, дата инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____ П.В. Шишмарев

подпись, дата инициалы, фамилия

Тех. Контроль _____ С.А. Михайленко

подпись, дата инициалы, фамилия

Красноярск 2016

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

Тепловые электрические станции

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
_____ Е.А.Бойко _____
подпись инициалы, фамилия
« ____ » ____ 20 ____ г.

ЗАДАНИЕ

НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

в форме бакалаврской работы

Студенту Киселевой Екатерине Михайловне

Группа ФЭ 12-01Б Направление (специальность) 13.03.01
«Теплоэнергетика и теплотехника »

Тема выпускной квалификационной работы Проект реконструкции ВПУ Красноярской ТЭЦ-2

Утверждена приказом по университету № 5781/с от 28.04.16

Руководитель ВКР Т. И. Охорзина, старший преподаватель кафедры «ТЭС»

Исходные данные для ВКР: ТЭЦ – 2, производительность ВПУ 400 м³/ч
Перечень разделов ВКР

1. Общая часть;
2. Расчетная часть
3. Индивидуальное задание;
4. Экономическая оценка реконструкции ВПУ;
5. Охрана окружающей среды;
6. Безопасность проектируемого объекта;

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов, слайдов

Лист 1. Схема ВПУ до реконструкции;

Лист 2. Схема ВПУ после реконструкции;

Лист 3. Ультрафильтрационный аппарат;

Лист 4. Противоточный фильтр;

Руководитель ВКР

Т.И. Охорзина

(подпись)

(инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению

Е.М.Киселева

(подпись)

(инициалы и фамилия студента)

«___» ____ 20__ г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Реконструкция ВПУ ТЭЦ-2» содержит 52 страницы текстового документа, 12 использованных источников, 4 листа графического материала.

СХЕМА ВПУ ДО РЕКОНСТРУКЦИИ, УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИЯ, ПРОТИВОТОЧНЫЕ ФИЛЬТРЫ ТЕХНОЛОГИИ UPCORE, СХЕМА ВПУ ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ

Объект – ВПУ Красноярской ТЭЦ-2

Цели работы:

- предложение варианта реконструкции ВПУ;
- расчет и оценка целесообразности реконструкции ВПУ;
- оценка экологической стороны проекта;

В результате, в качестве варианта реконструкции ВПУ Красноярской ТЭЦ-2 была предложена одноступенчатая схема ВПУ с противоточными фильтрами, работающими по технологии Апкоре (Upcore). Было произведено сравнение с точки зрения затрат реагентов, смол и воды на собственные нужды.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Общая часть.....	4
1.1 Техническое водоснабжение Красноярской ТЭЦ-2.....	4
1.2 Краткое описание ВПУ.....	5
1.2.1 Декарбонизатор.....	8
1.2.2 Осветлитель.....	9
1.2.3 Теория обработки воды методом ионного обмена.....	11
1.2.3.1 Принцип ионного обмена.....	11
1.2.3.2 Технология процесса ионирования.....	12
1.2.3.3 Устройство ионитовых фильтров.....	13
1.2.4 Механические фильтры	14
1.2.5 Узел нейтрализации.....	14
2 Расчетная часть.....	16
2.1 Расчет схемы ВПУ.....	16
2.2 Расчет декарбонизатора.....	23
2.3 Расчет осветлителя.....	25
3 Индивидуальное задание.....	26
3.1 Обоснование реконструкции ВПУ.....	26
3.2 Расчет ВПУ с применение технологии Апкоре.....	28
3.2.1 Расчет анионитовых фильтров.....	30
3.2.2 Расчет Н-катионитовых фильтров.....	36
3.2.3 Ультрафильтрация.....	41
3.2.4 Осветлитель.....	42
4 Экономическая оценка реконструкции ВПУ.....	44
5 Охрана окружающей среды.....	46
6 Безопасность реконструированной ВПУ.....	47
6.1 Меры безопасности в цехе химической очистки воды.....	47
6.2 Опасность поражения электрическим током	48
6.3 Производственная санитария.....	48
6.3.1 Микроклимат.....	48
6.3.2 Выделение вредных веществ.....	50
Заключение.....	51
Список использованных источников.....	52

ВВЕДЕНИЕ

Развитие промышленности и широкое жилищно-коммунальное строительство вызывает непрерывный рост тепловой нагрузки. Одновременно идет процесс концентрации этой нагрузки в крупных городах промышленных районах, что создает базу для дальнейшего развития теплофикации и централизованного теплоснабжения.

В отдельных районах возникают крупные территориальные формирования с концентрацией тепловой нагрузки, что вызывает необходимость создания комплексных систем с использованием различных источников теплоснабжения.

Ужесточение планировочных и экономических требований к городам и промышленным районам приводит к размещению ТЭЦ на значительном расстоянии от районов теплового потребления, что усложняет тепловые и гидравлические режимы систем теплоснабжения, выдвигает повышенные требования к их надежности.

Увеличение мощности ТЭЦ, размещенных в районах теплового потребления, препятствуют экологические нормы и требования. Без отказа от традиционных источников энергии назрела необходимость создания экологически чистых энергетических установок для возможности размещения их вблизи районов потребления без возникновения проблем, связанных с экологией.

Развитие теплофикации и централизованного теплоснабжения выдвигают инженерные задачи, успешное решение которых в значительной мере зависит от подготовки инженерно - технических и научных кадров.

1 Общая часть

1.1 Техническое водоснабжение Красноярской ТЭЦ-2

Источником технического водоснабжения Красноярской ТЭЦ-2 являются поверхностные воды реки Енисей.

Существующая система охлаждения и технического водоснабжения (ТВС) Красноярской ТЭЦ-2 прямоточная, с повторным использованием холодной речной воды, забираемой из основного русла реки Енисей и сбросом ее в Абаканскую протоку реки Енисей.

Водозaborные сооружения расположены на острове Отдыха в пяти километрах от ТЭЦ-2, состоят из подводящего канала-прорези и береговой насосной станции технического водоснабжения, оборудованной водозаборным ковшом с низовым подводом воды. Вода забирается из реки Енисей и по двум напорным водоводам подается на площадку ТЭЦ в конденсаторы трех турбин на охлаждение вспомогательного оборудования. После чего вода направляется в конденсатор первой турбины и, затем, по отводящим водоводам сбрасывается через рассеивающий выпуск в Абаканскую протоку. При сбросе технологической воды происходит 15-кратное перемешивание с водой реки Енисей в расчетном створе длиной 500 метров.

В береговой насосной установлены четыре основных насоса типа 32В-12М подачей 6300 м³/ч, напором 79 м.в.ст. Суммарная подача насосов около 25000 м³/ч.

Подводящие напорные водоводы на всем протяжении уложены в две нитки из стальных труб диаметром 1200 мм. Напорные водоводы через Абаканскую протоку проложены в виде трехниточного дюкера того же диаметра. Под железнодорожными путями и жилищной застройкой водоводы проходят в тоннеле, сооруженном щитовым способом, длиной около 500 метров.

Из напорных водоводов вода отбирается на подпитку оборотной системы ГЗУ, ХВО котлов и другие нужды. В отводящие водоводы принимаются ливневые воды после отстойного пруда и от других потребителей.

Отводящие самотечные водоводы по территории промплощадки уложены в две нитки из стальных труб диаметром 1200 мм, за пределами промплощадки отводящие водоводы до Абаканской протоки проложены в две нитки из железобетонных труб диаметром 1500 мм.

1.2 Краткое описание ВПУ

Химводоочистка включает в себя две установки подготовки воды:

1. установку для приготовления добавочной воды котлов, работающую по схеме двухступенчатого обессоливания, производительностью 400 т/ч;
2. установку подпитки теплосети, работающую по схеме прямого подкисления с буферными фильтрами производительностью 1540 т/ч.

Для подпитки котлов высокого давления проектом предусмотрена схема двухступенчатого обессоливания с предочисткой. Обессоливающая установка, производительностью 400 м³/ч предназначена для восполнения пара и конденсата в цикле ТЭЦ. Забор воды осуществляется из напорного цикловодовода куда подается вода из реки Енисей. Подогретая до температуры 30 °С в теплообменнике, установленном в турбинном цехе, вода по двум трубопроводам поступает на предочистку химобессоливающей установки.

На предочистке установлено три осветителя типа ВТИ производительностью 350 т/ч и узел ввода реагента-коагулянта. Узел коагулянта включает шесть ячеек грязного раствора коагулянта, две ячейки чистого раствора коагулянта, где производят приготовление раствора заданной концентрации. В ячейки подведен воздух для перемешивания раствора коагулянта и вода для растворения. На дне ячеек грязного раствора коагулянта установлены деревянные короба, заполненные дробленным антрацитом (20-40 мм) для грубой фильтрации раствора.

Из ячеек грязного раствора отфильтрованный раствор коагулянта самотеком по трубопроводу перетекает в ячейки чистого раствора. Перекачивающими насосами марки 3х-9к производительностью 29-60 м³/ч, с напором 35 м.в.ст. (2 шт.), раствор коагулянта подается через фильтр коагулянта (D=1000 мм) в баки-мерники V=8 м³ (3 шт.). Пройдя фильтр-сетку насосами-дозаторами серии НД-630/10 (Q=630 л/ч, H=10 кгс/см², 6шт.) подается в трубопровод сырой воды перед каждым осветителем.

В осветителях происходит коагуляция воды. Коагулированная вода из осветителей самотеком поступает в баки коагулированной воды (V=300 м³, D=8060 мм, H=5960 мм, 3 шт.). Из них насосами марки 6НДВ60 (Q=360 м³/ч, H= 54 м.в.ст., 3 шт.) подается по двум коллекторам на механические фильтры, загруженные антрацитом (Q=45-90 м³/ч, D=3400 мм, 6 шт.).

Взрыхление механических фильтров производится коагулированной водой из бака промывки механических фильтров (D=8060 мм, H=5960 мм, V=300 м³) с помощью насоса марки 8НДВ-60С (Q=400 м³/ч, H=82 м.в.ст., 2 шт.)

Осветленная вода после механических фильтров поступает на ионитовые фильтры схемы двухступенчатого обессоливания.

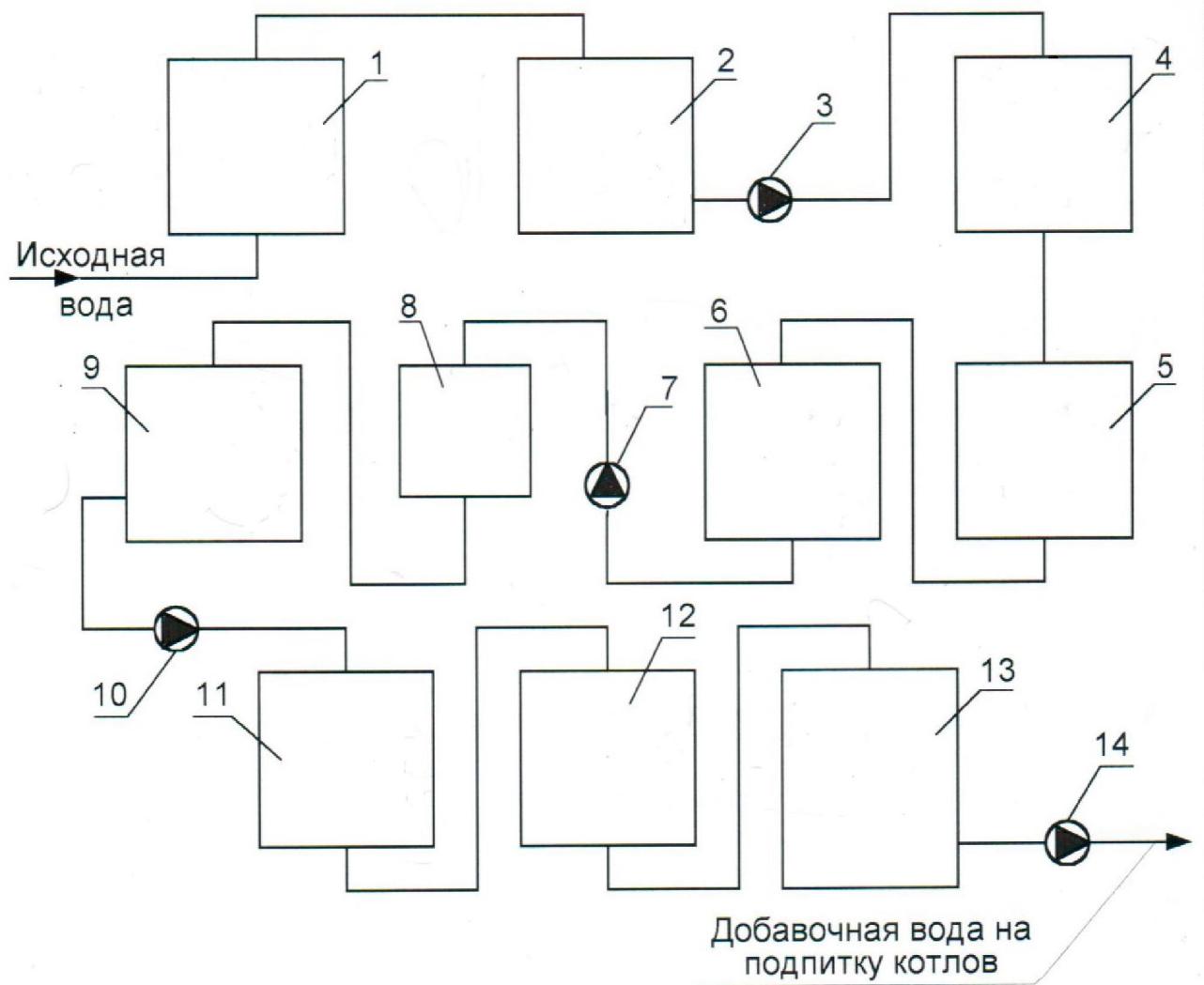
Осветленная вода обрабатывается на водород- катионитовых фильтрах первой ступени (D=3400 мм, 6 шт., Q=135-180 м³/ч),

загруженных сульфоуглем, где происходит снижение жесткости обрабатываемой воды (удаление катионов солей жесткости Ca^{2+} , Mg^{2+}). Водород-катионированная вода поступает на анионитовые фильтры первой ступени ($D=3000$ мм, 7 шт., $Q=140 \text{ м}^3/\text{ч}$), загруженные низкоосновным анионитом марки АН-31, где происходит удаление анионов сильных кислот.

Частично-обессоленная вода поступает в декарбонизаторы ($Q=300 \text{ м}^3/\text{час.}$, $D=2530$ мм, $H=4268$ мм, 2 шт.), где происходит удаление CO_2 (содержание CO_2 должно быть не более 5 мг/дм³) и далее в баки частично-обессоленной воды ($D=8060$ мм, $H=5960$ мм, $V=300 \text{ м}^3$, 3 шт.), откуда насосами марки 6НДВ-60 ($Q=360 \text{ м}^3$, $H=54$ м.в.ст., 3 шт.) подается на водород-катионитовые фильтры второй ступени ($D=3000$ мм, 4 шт., $Q=140-210 \text{ м}^3/\text{ч}$), загруженные катионитом марки КУ-2-8, где происходит дальнейшее снижение жесткости и удаление катионов Na^+ .

Водород-катионированная вода после Н-катионитовых фильтров второй ступени поступает на анионитовые фильтры второй ступени ($D=3000$ мм, 5 шт., $Q=140-210 \text{ м}^3/\text{ч}$), загруженные высокоосновным анионитом марки АВ-17-8, где происходит удаление анионов слабых кислот (HsiO_2 , HCO_3^-). Затем обессоленная вода поступает по двум коллекторам в баки обессоленной воды ($V=2000 \text{ м}^3$, 2 шт.). В коллектор дозируется аммиак для поддержания заданных параметров.

Методика и результаты расчета двухступенчатой схемы химического обессоливания и однокамерных механических фильтров приведены в таблицах № 2-6 пункта 2, схема ХВО изображена на рисунке 1.



1 – Осветлитель ВТИ-350, 3 шт.; 2 – Бак осветленной воды, 3 шт.; 3 – Насос осветленной воды (НКВ), 3 шт.; 4 – Механический фильтр, 6 шт. ; 5– Н-катионитовый противоточный фильтр первой ступени, 6 шт.; 6 – Анионитовый фильтр первой ступени, 5 шт.; 7 – Подкачивающий насос (НП ЧОВ).; 8 – Декарбонизатор, 2 шт.; 9 – Бак частично-обессоленной воды, 3 шт.; 10 – Насос частично-обессоленной воды, 3 шт.; 11 – Н-катионитовый фильтр второй ступени, 4 шт.; 12 – Анионитовый фильтр второй ступени, 7 шт.; 13 – Бак обессоленной воды, 2 шт.; 14 – Насос обессоленной воды, 2 шт.

Рисунок 1 – Схема XBO

1.2.1 Декарбонизатор

В схеме обессоливания предусмотрена декарбонизация воды, предназначенная для удаления из неё растворённой угольной кислоты с тем, чтобы сократить затраты едкого натра на стадии сильноосновного анионирования. В схеме установлены два декарбонизатора ($Q=300 \text{ м}^3/\text{ч}$, $d=2530 \text{ мм}$, $H=4208 \text{ мм}$), брызгоотделитель ($d=1000 \text{ мм}$, $H=2105 \text{ мм}$).

Декарбонизация относится к десорбционному способу удаления из воды растворенных газов, основанному на законах Генри и Дальтона применительно к системе: угольная кислота - вода.

Растворенная угольная кислота удаляется из воды в специальных аппаратах - декарбонизаторах. В схеме химического обессоливания применяется декарбонизатор пленочного типа с насадкой из колец Рашига.

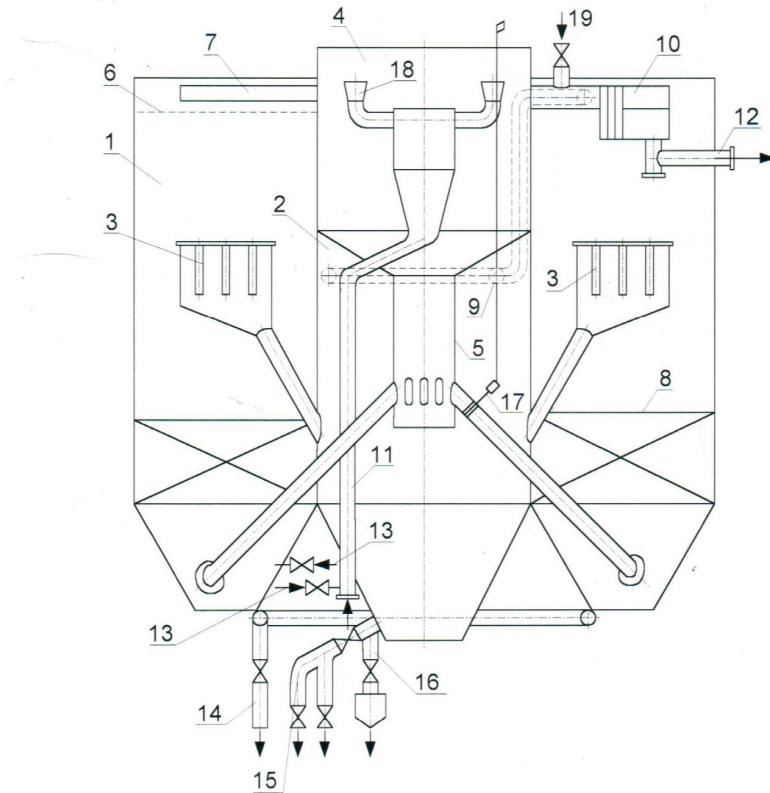
Эффективность удаления углекислоты зависит от расхода воды, температуры воды, величины pH и удельной поверхности воды с воздухом.

Эксплуатация декарбонизатора сводится к наблюдению за работой вентилятора и ежесменному контролю за содержанием углекислоты в Обработанной воде, которая должна составлять не более $5\text{мг}/\text{дм}^3$.

1.2.2 Осветлители

Проектом предусмотрено три осветлителя типа ВТИ производительностью 350 т/ч каждый.

Осветлитель для коагуляции ВТИ, производительностью 350 т/ч состоит из следующих частей (рисунок 2):



1 – корпус; 2 – шламоуплотнитель; 3 – шламоприемные трубы с окнами; 4 – воздухоотделитель; 5 – центральная отводящая труба, к которой под углом присоединены 8 распределительных труб; 6 – верхняя распределительная решетка; 7 – сборный кольцевой желоб с отверстиями, служащий для сбора основной массы отработанной воды; 8 – вертикальные успокоительные решетки, служащие для гашения скорости и направления движения воды; 9 – трубопровод отбора воды из шламо-утштотнителя с задвижкой (так называемой отсечкой); 10 – сборно-распределительное устройство, служащее для отбора и отвода всей воды отработанной в осветлителе; 11 – трубопровод подвода исходной воды; 12 – трубопровод отвода коагулированной воды; 13 – трубопровод подвода коагулянта; 14 – трубопровод опорожнения осветлителя; 15 – трубопровод периодической продувки шламоуплотнителя; 16 – трубопровод непрерывной продувки шламоуплотнителя; 17 – заслонка (4шт); 18 – воронка (бшт); 19 – регулирующая задвижка.

Рисунок 2 – Осветлитель ВТИ-350, Q=350 м³/ч

Осветлитель имеет восемь пробоотборных точек, служащих для контроля за работой осветлителя.

На каждой второй из распределительных труб (позиция 5) установлена заслонка (позиция 17), что дает возможность перекрытия труб, изменяя скорость ввода воды в осветлитель.

Осветлитель работает следующим образом (рис.2). Подогретая исходная вода по трубопроводу (11) поступает через шесть воронок (18) в воздухоотделитель, расположенный в центральной верхней части осветлителя, из которого по трубопроводу (5) и подсоединенным к нему распределительным трубам вводится в нижнюю часть осветлителя через тангенциально-расположенные (съемные) сопла.

Ввод коагулянта предусматривается в трубопровод исходной воды. Вода и коагулянт перемешиваются при вращательном движении потока. В нижней части осветлителя, примерно до нижних кромок установленных решеток(8), образуется зона смешения, где происходит реакция гидролиза коагулянта и образование хлопьевидного осадка. Образовавшийся осадок выходящим потоком воды поднимается вверх и образует зону контактной среды, или так называемый "шламовый фильтр".

Верхняя граница зоны контактной среды ("шламового фильтра") располагается примерно на уровне окон пшамоприемных труб (3), под зоной контактной среды до верхней распределительной решетки (6) располагается так называемая защитная зона осветления.

Большая часть обрабатываемой воды проходит "шламовый фильтр", защитную зону осветления, верхнюю распределительную решетку (6) и по сборному желобу (7) поступает в распределительное устройство (10), откуда по трубопроводу (12) сливается в бак коагулированной воды. Остальная часть воды вместе со шламом из верхней части "шламового фильтра" поступает через окна пшамоприемных труб (3) в шламоуплотнитель (2), где шлам оседает и выводится через трубопроводы продувки шламоуплотнителя (15 и 16). Осветленная вода из верхней части шламоуплотнителя через отсечку (9) также отводится в распределительное устройство (10). На трубопроводе "отсечки" имеется задвижка, позволяющая регулировать расход отводимой воды и количество шлама, поступающего в шламоуплотнитель.

1.2.3 Теория обработки воды методом ионного обмена

1.2.3.1 Принцип ионного обмена

Обработка воды методом ионного обмена основана на способности некоторых практически нерастворимых в воде веществ, называемых ионнообменными материалами или ионитами, изменять в желаемом направлении ионный состав воды.

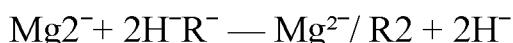
Для этого обрабатываемую воду пропускают через фильтры, загруженные ионитами. Просачиваясь между зернами ионита, обрабатываемая вода: обменивает часть ионов растворенных в ней электролитов на эквивалентное количество ионов ионита, в результате чего изменяется состав как фильтруемой воды, так и самого ионита.

Если в результате обработки воды методом ионного обмена происходит обмен катионов, то такой процесс называется катионированием; если же при этом происходит обмен анионов, то такой процесс называется анионированием.

Катионирование и анионирование применяются на электростанциях для умягчения, обессоливания и обескремнивания добавочной питательной воды котлов.

В зависимости от того какой катион в данном катионите является обессоленным, различают натрий -катионит и водород - катионит.

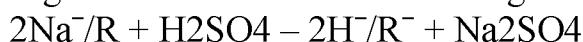
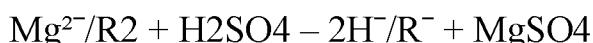
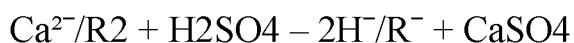
При водород-катионировании обрабатываемой воды протекают следующие реакции обмена:



В результате приведенных реакций общая жесткость Н-катионированной воды снижается до 10 мкг-экв / дм³ и ниже, карбонатная жесткость полностью удаляется. Так как в процессе Н-катионирования все катионы в воде заменяются катионами водорода, то присутствующие в растворе сульфаты, хлориды, нитраты и т.п. (кальция, магния, натрия) преобразуются в свободные минеральные кислоты (серную, соляную, азотную, кремниевую и др.).

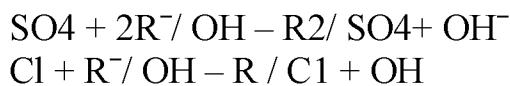
Регенерацию истощенного Н-катионита осуществляют 1,0 - 1,2 процентным раствором серной кислоты.

Протекающие в процессе регенерации реакции могут быть выражены следующими реакциями:



Процесс анионирования представляет следующее: слабоосновные аниониты при анионировании способны обменивать свои активные обменные анионы только на анионы сильных кислот (SO_4^2- ; Cl^- ; NO_3^-), для удаления которых из воды они и применяются

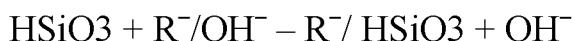
Например,



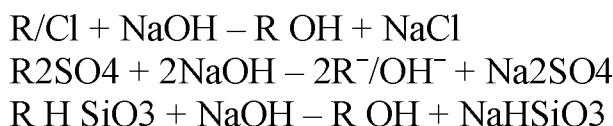
В результате приведенных реакций анионирования Н- катионированной воды общее солесодержание снижается до 50 -100 мкг/дм³.

Анионы слабых кислот (HSiO_3^- ; HCO_3^-) не вступают в обменные реакции со слабоосновными анионитами. Сильноосновные аниониты способны извлекать из воды все содержащиеся в ней анионы как сильных, так и слабых кислот.

Однако сильноосновные аниониты значительно дороже слабоосновных, поэтому их применяют главным образом для поглощения анионов кремниевой кислоты в установках для глубокого и полного обессоливания и обескремнивания воды:



При замене обменных анионов анионами растворенных в воде электролитов анионит истощается и теряет способность обменивать ионы. Регенерация, то есть восстановление обменной емкости анионита достигается фильтрованием через слой истощенного анионита раствора NaOH :



1.2.3.2 Технология процесса ионирования

На анионитовых фильтрах в процессе эксплуатации производятся поочередно следующие технологические операции:

- фильтрование (рабочий цикл);
- взрыхление (промывка);
- регенерация (восстановление обменной емкости ионита);
- отмывка.

В процессе ионирования из обрабатываемой воды происходит удаление соответствующих анионов и катионов при поглощении их катионитами и анионитами. Скорость фильтрования воды через все фильтры первой ступени и анионитовые фильтры второй ступени должна быть от 15 до 20 м/ч, а через катионитовые фильтры второй ступени - от 20 до 30 м/ч.

При истощении ионита, то есть при окончании рабочего цикла, фильтр отключается на регенерацию. Перед регенерацией проводится взрыхление ионита с целью устранения гидродинамической неравномерности фильтрующего материала, слеживание его и удаление измельчившихся частиц.

Водород-катионитовые фильтры первой ступени взрыхляются Н-катионированной водой, водород-катионитовые фильтры второй ступени и анионитовые фильтры первой ступени взрыхляются частично-обессоленной водой из коллектора ЧОВ, анионитовые фильтры второй ступени взрыхляются обессоленной водой из коллектора ОВ.

Скорость воды при взрыхлении для водород-катионитовых фильтров от 8 до 10 м/ч, для анионитовых - от 6 до 8 м/ч.

Регенерация фильтров предназначена для вытеснения соответствующих катионов (анионов), поглощенных катионитом (анионитом) из обрабатываемой воды и замены их катионами (анионами) регенерационного раствора.

1.2.3.3 Устройство ионитовых фильтров

На обессоливающей установке смонтированы напорные вертикальные противоточные Н-катионитовые фильтры первой ступени, остальные прямоточные, представляющие собой цилиндрические сосуды со сферическими днищами. Внутри фильтра укреплены верхнее и нижнее, а в противоточных фильтрах еще среднее дренажно – распределительные устройства (ВДРУ, НДРУ, СДРУ)

В прямоточных фильтрах НДРУ выполнено из горизонтально - расположенного коллектора и присоединенных к нему лучей, на которых сверху закреплена образная пластина со щелями шириной 0,3-0,4 мм. НДРУ расположено на бетонированном днище и служит для равномерного отвода обработанной воды и равномерного подвода взрыхляющей воды.

В противоточных фильтрах НДРУ выполнено типа "копирующего днища".

ВДРУ в противоточных Н - катионитовых фильтрах первой ступени выполнено из нержавеющей стали в виде "паука", состоящее из десяти радиально расходящихся от центра труб с отверстиями.

В остальных фильтрах ВДРУ выполнено в виде отбойных щитков.

СДРУ в противоточных фильтрах выполнено из горизонтально-расположенного коллектора и присоединенных к нему лучей, на которых сверху закреплена образная пластина со щелями шириной от 0,3 до 0,4 мм.

ВДРУ служит для равномерного подвода регенерационного раствора и отвода взрыхляющей воды.

1.2.4 Механические фильтры

Вертикальный однопоточный механический фильтр состоит из цилиндрического корпуса, двух сферических днищ, верхнего и нижнего дренажно-распределительных устройств (ВДРУ и НДРУ)

ВДРУ представляет собой отбойный щиток; НДРУ состоит из ряда параллельных труб-лучей, присоединенных к центральному коллектору. На лучах имеются отверстия, покрытые кожухами со щелями размером от 0,4 до 0,1мм.

Фильтр имеет два люка для загрузки фильтрующего материала, осмотра и ремонта.

Механический фильтр по фронту имеет следующие трубопроводы:

- трубопровод для подвода обрабатываемой коагулированной воды Мик№3;
- трубопровод для отвода обработанной осветлённой воды с Мик№5;
- трубопровод для подвода взрыхляющей воды с Мик №1;
- трубопровод для отвода воды после взряхления с Мик№2;
- трубопровод для отвода первых порций воды перед включением в работу, а также отвода воды при опорожнении фильтра с Мик№6.

Кроме того, каждый фильтр оборудован воздушником, двумя пробоотборными точками, двумя манометрами на входящем и выходящем трубопроводах и расходомером на трубопроводе осветленной воды. Рабочее давление в механическом фильтре – не более 6 кгс/см.

1.2.5 Узел нейтрализации

Узел нейтрализации предназначен для нейтрализации кислых и щелочных сбросов обессоливающей установки.

Кислые и щелочные воды образуются при восстановлении обменной способности Н-катионитовых и анионитовых фильтров, в приемниках насосного и реагентного отделений.

Нейтрализация этих сбросных вод производится двух-трех процентным раствором аммиака в трех баках нейтрализаторах $V=400 \text{ м}^3$ (каждый раствором аммиака до норм, утвержденных санэпидстанцией - pH от 6,5 до 8,5).

Характеристика оборудования.

Бак-нейтрализатор (3 шт.):

V=400 м³

D=9700 мм

H=9222 мм

Мерники раствора аммиака (2 шт.):

V=4 м³

D=2000 мм

H=3800 мм

Насос перекачки раствора АР-100м аммиака (1шт.):

Q=97 м/час

H=30 м.в.ст.

Насос дренажных вод из баков нейтрализаторов (1 шт.):

Q=61-100 м/час

H=27.5-37.5 м.в.ст.

2 Расчетная часть

Производительность установки подпитки котлов принимается равной 400 м³/ч.

В таблицах 1 – 5 приведены технологические расчеты фильтров А2 – Н2 – А1 – Н1 – М, т.е. фильтров, которые были спроектированы изначально.

2.1 Расчет схемы ВПУ

Таблица 1 – Технологический расчет фильтров А2 – Н2 – А1 – Н1 – М. Расчет анионитного фильтра второй ступени (А2)

Показатель, единица измерения	Расчетная формула или принятое обозначение	ВПУ до реконструкции
Расчетная производительность, м ³ /ч	Q_{cm}	400
Скорость фильтрования, м/ч	ω	26,7
Требуемая площадь фильтрования, шт.	F	15
Число фильтров (в работе + регенерация), шт.	$n + n_p$	5
Площадь одного фильтра, м ²	f	3,0
Характеристика стандартного фильтра, м/м ²	d / f	2,6/7,1
Действительная скорость фильтрования, м/ч	ω_d	11,27
Тип загруженного материала		АБ-17
Рабочая емкость, г·ЭКВ/м ³	E_p	200
Принятая высота слоя, м	h_{cl}	1,5
Продолжительность фильтроцикла, ч	T	120
Суточное число регенераций всех фильтров, рег/сут	$m = \frac{24 \cdot n}{T}$	$\frac{24 \cdot 4}{120} = 0,8$
Удельная расход 100%-го реагента, кг/м ³	b	100
Расход реагента на регенерацию, кг	$\delta = f \cdot h_{cl} \cdot b$	$7,1 \cdot 1,5 \cdot 60 = 1065$
Суточный расход реагента, кг	$\delta_{cym} = \delta \cdot m$	$1065 \cdot 0,8 = 844,8$
Удельный расход воды на взрыхление фильтра кг/(с·м ²)	i	3,0
Время взрыхления фильтра, мин	τ_{ezp}	10

Продолжение таблицы 1

Расход воды на взрыхление, м ³	$V_{\text{взр}} = f \cdot i \cdot \tau_{\text{взр}} \cdot 0,6$	7,1·3,0·10·0,6=12,78
Концентрация регенерационного раствора, %	$C_{\text{р.п.}}$	3
Расход воды на приготовление регенерационного раствора, м ³	$V_{\text{р.п.}} = \frac{\delta \cdot 100}{C_{\text{р.п.}} \cdot 10^3}$	$\frac{1065 \cdot 100}{4 \cdot 10^3} = 26,63$
Удельный расход воды на отмыкку, м ³ /м ³	a	5
Расход воды на отмыкку, м ³	$V_{\text{отм}} = f \cdot h_{\text{cl}} \cdot a$	7,1·1,5·9=95,85
Суммарный расход воды на регенерацию, м ³	$V_{\Sigma} = V_{\text{взр}} + V_{\text{р.п.}} + V_{\text{отм}}$	12,78+26,63+95,85=135,3
Часовой расход воды на собственные нужды, м ³ /ч	$q_{\text{с.н.}}^{\text{ч.н.}} = \frac{V_{\Sigma} \cdot m}{24}$	$q_{\text{с.н.}}^{\text{ч.н.}} = \frac{V_{\Sigma} \cdot m}{24}$
Скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч	$\omega_{\text{р.п.}}$	5
Время пропуска регенерационного раствора, мин	$\tau_{\text{р.п.}} = \frac{V_{\text{р.п.}} \cdot 60}{f \cdot \omega_{\text{р.п.}}}$	$\frac{26,23 \cdot 60}{7,1 \cdot 5}$
Скорость отмыкки, м/ч	$\omega_{\text{отм}}$	5
Время отмыкки, мин	$\tau_{\text{отм}}$	162
Суммарное время регенерации фильтра, мин	$\tau_{\Sigma} = \tau_{\text{взр}} + \tau_{\text{р.п.}} + \tau_{\text{отм}}$	10+45+162=217

Таблица 2 – Технологический расчет фильтров А2 – Н2 – А1 – Н1 – М. Расчет Н-катионитного фильтра второй ступени (Н2)

Показатель, единица измерения	Расчетная формула или принятое обозначение	Расчетная формула или принятое обозначение
Расчетная производительность, м ³ /ч	$Q_{\text{см}}$	405,64
Скорость фильтрования, м/ч	ω	33,83
Требуемая площадь фильтрования, шт.	F	12
Число фильтров (в работе + регенерация), шт.	$n + n_p$	4
Площадь одного фильтра, м ²	f	3,0
Характеристика стандартного фильтра, м/м ²	d / f	2,6/7,1
Действительная скорость фильтрования ,м/ч	ω_d	14,28

Продолжение таблицы 2

Тип загруженного материала		КУ-2
Рабочая емкость, г·ЭКВ/м ³	E_p	400
Принятая высота слоя, м	h_{cl}	1,5
Продолжительность фильтроцикла, ч	T	420,08
Суточное число регенераций всех фильтров, рег/сут	$m = \frac{24 \cdot n}{T}$	0,23
Удельная расход 100%-го реагента, кг/м ³	b	60
Расход реагента на регенерацию, кг	$\delta = f \cdot h_{cl} \cdot b$	639
Суточный расход реагента, кг	$\delta_{cym} = \delta \cdot m$	146,97
Удельный расход воды на взрыхление фильтра кг/(с·м ²)	i	3,0
Время взрыхления фильтра, мин	τ_{exp}	10
Расход воды на взрыхление, м ³	$V_{exp} = f \cdot i \cdot \tau_{exp} \cdot 0,6$	12,78
Концентрация регенерационного раствора, %	$C_{p.p.}$	3
Расход воды на приготовление регенерационного раствора, м ³	$V_{p.p.} = \frac{\delta \cdot 100}{C_{p.p.} \cdot 10^3}$	21,3
Удельный расход воды на отмывку, м ³ /м ³	a	5
Расход воды на отмывку, м ³	$V_{omm} = f \cdot h_{cl} \cdot a$	53,25
Суммарный расход воды на регенерацию, м ³	$V_{\Sigma} = V_{exp} + V_{p.p.} + V_{omm}$	87,33
Часовой расход воды на собственные нужды, м ³ /ч	$q_{cm}^{c.h.} = \frac{V_{\Sigma} \cdot m}{24}$	0,84
Скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч	$\omega_{p.p.}$	5
Время пропуска регенерационного раствора, мин	$\tau_{p.p.} = \frac{V_{p.p.} \cdot 60}{f \cdot \omega_{p.p.}}$	36
Скорость отмычки, м/ч	ω_{omm}	5
Время отмычки, мин	τ_{omm}	90
Суммарное время регенерации фильтра, мин	$\tau_{\Sigma} = \tau_{exp} + \tau_{p.p.} + \tau_{omm}$	136

Таблица 3 – Технологический расчет фильтров А2 – Н2 – А1 – Н1 – М. Расчет анионитного фильтра первой ступени (А1)

Показатель, единица измерения	Расчетная формула или принятое обозначение	Расчетная формула или принятое обозначение
Расчетная производительность, $\text{м}^3/\text{ч}$	Q_{cm}	406,48
Скорость фильтрования, $\text{м}/\text{ч}$	ω	27,12
Требуемая площадь фильтрования, шт.	F	15
Число фильтров (в работе + регенерация), шт.	$n + n_p$	5
Площадь одного фильтра, м^2	f	3,0
Характеристика стандартного фильтра, $\text{м}/\text{м}^2$	d / f	2,6/7,1
Действительная скорость фильтрования, $\text{м}/\text{ч}$	ω_d	11,45
Тип загруженного материала		АН-31
Рабочая емкость, $\text{г}\cdot\text{ЭКВ}/\text{м}^3$	$E_{раб}$	800
Принятая высота слоя, м	h_{cl}	2,5
Продолжительность фильтроцикла, ч	T	58,61
Суточное число регенераций всех фильтров, рег/сут	$m = \frac{24 \cdot n}{T}$	2,05
Удельная расход 100%-го реагента, $\text{кг}/\text{м}^3$	b	50
Расход реагента на регенерацию, кг	$\delta = f \cdot h_{cl} \cdot b$	532,5
Суточный расход реагента, кг	$\delta_{cym} = \delta \cdot m$	1092,63
Удельный расход воды на взрыхление фильтра $\text{кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$	i	3,0
Время взрыхления фильтра, мин	τ_{exp}	10
Расход воды на взрыхление, м^3	$V_{exp} = f \cdot i \cdot \tau_{exp} \cdot 0,6$	12,78
Концентрация регенерационного раствора, %	$C_{p.p.}$	4
Расход воды на приготовление регенерационного раствора, м^3	$V_{p.p.} = \frac{\delta \cdot 100}{C_{p.p.} \cdot 10^3}$	13,31
Удельный расход воды на отмыку, $\text{м}^3/\text{м}^3$	a	8
Расход воды на отмыку, м^3	$V_{omk} = f \cdot h_{cl} \cdot a$	85,2
Суммарный расход воды на регенерацию, м^3	$V_{\Sigma} = V_{exp} + V_{p.p.} + V_{omk}$	111,29

Продолжение таблицы 3

Часовой расход воды на собственные нужды, м ³ /ч	$q_{cm}^{c.h.} = \frac{V_{\Sigma} \cdot m}{24}$	9,51
Скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч	$\omega_{p.p}$	5
Время пропуска регенерационного раствора, мин	$\tau_{p.p} = \frac{V_{p.p} \cdot 60}{f \cdot \omega_{p.p}}$	22,5
Скорость отмывки, м/ч	ω_{om}	10
Время отмывки, мин	τ_{om}	72
Суммарное время регенерации фильтра, мин	$\tau_{\Sigma} = \tau_{ezp} + \tau_{p.p.} + \tau_{om}$	104,5

Таблица 4 – Технологический расчет фильтров А2 – Н2 – А1 – Н1 – М. Расчет Н-катионитного фильтра первой ступени (Н1)

Показатель, единица измерения	Расчетная формула или принятое обозначение	Расчетная формула или принятое обозначение
Расчетная производительность, м ³ /ч	Q_{cm}	415,99
Скорость фильтрования, м/ч	ω	20,38
Требуемая площадь фильтрования, шт.	F	20,4
Число фильтров (в работе + регенерация), шт.	$n + n_p$	6
Площадь одного фильтра, м ²	f	3,4
Характеристика стандартного фильтра, м/м ²	d / f	3,4/9,1
Действительная скорость фильтрования ,м/ч	ω_d	8,01
Тип загруженного материала		КУ-2
Рабочая емкость, г·экв/м ³	E_p	650
Принятая высота слоя, м	h_{cl}	3,3
Продолжительность фильтроцикла, ч	T	159,06
Суточное число регенераций всех фильтров, рег/сут	$m = \frac{24 \cdot n}{T}$	0,91
Удельная расход 100%-го реагента, кг/м ³	b	60
Расход реагента на регенерацию, кг	$\delta = f \cdot h_{cl} \cdot b$	1801,8
Суточный расход реагента, кг	$\delta_{sym} = \delta \cdot m$	1639,64
Удельный расход воды на взрыхление фильтра кг/(с·м ²)	i	-

Продолжение таблицы 4

Время взрыхления фильтра, мин	$\tau_{\text{взр}} = -$	-
Расход воды на взрыхление, м ³	$V_{\text{взр}} = f \cdot i \cdot \tau_{\text{взр}} \cdot 0,6$	-
Концентрация регенерационного раствора, %	$C_{\text{р.п.}}$	1
Расход воды на приготовление регенерационного раствора, м ³	$V_{\text{р.п.}} = \frac{\delta \cdot 100}{C_{\text{р.п.}} \cdot 10^3}$	180,18
Удельный расход воды на отмыкку, м ³ /м ³	a	5
Расход воды на отмыкку, м ³	$V_{\text{отм}} = f \cdot h_{\text{кл}} \cdot a$	150,15
Суммарный расход воды на регенерацию, м ³	$V_{\Sigma} = V_{\text{взр}} + V_{\text{р.п.}} + V_{\text{отм}}$	330,33
Часовой расход воды на собственные нужды, м ³ /ч	$q_{\text{сн}}^{\text{ч.н.}} = \frac{V_{\Sigma} \cdot m}{24}$	12,53
Скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч	$\omega_{\text{р.п.}}$	10
Время пропуска регенерационного раствора, мин	$\tau_{\text{р.п.}} = \frac{V_{\text{р.п.}} \cdot 60}{f \cdot \omega_{\text{р.п.}}}$	118,8
Скорость отмыкки, м/ч	$\omega_{\text{отм}}$	10
Время отмыкки, мин	$\tau_{\text{отм}}$	99
Суммарное время регенерации фильтра, мин	$\tau_{\Sigma} = \tau_{\text{взр}} + \tau_{\text{р.п.}} + \tau_{\text{отм}}$	217,8

Таблица 5 – Технологический расчет фильтров А2 – Н2 – А1 – Н1 – М. Расчет механического фильтра (М)

Показатель, единица измерения	Расчетная формула или принятое обозначение	Расчетная формула или принятое обозначение
Расчетная производительность, м ³ /ч	$Q_{\text{сн}}$	428,52
Скорость фильтрования, м/ч	ω	15,75
Требуемая площадь фильтрования, шт.	F	27,2
Число фильтров (в работе + регенерация), шт.	$n + n_p$	8
Площадь одного фильтра, м ²	f	3,4
Характеристика стандартного фильтра, м/м ²	d / f	3,4/9,1

Продолжение таблицы 5

Действительная скорость фильтрования ,м/ч	ω_o	5,89
Тип загруженного материала		Антрацит
Рабочая емкость, г·ЭКВ/м ³	E_p	2
Принятая высота слоя, м	h_{cl}	1,2
Продолжительность фильтроцикла, ч	T	40,77
Суточное число регенераций всех фильтров, рег/сут	$m = \frac{24 \cdot n}{T}$	4,71
Удельная расход 100%-го реагента, кг/м ³	b	-
Расход реагента на регенерацию, кг	$\delta = f \cdot h_{cl} \cdot b$	-
Суточный расход реагента, кг	$\delta_{cym} = \delta \cdot m$	-
Удельный расход воды на взрыхление фильтра кг/(с·м ²)	i	12,0
Время взрыхления фильтра, мин	τ_{e3p}	15
Расход воды на взрыхление, м ³	$V_{e3p} = f \cdot i \cdot \tau_{e3p} \cdot 0,6$	98,28
Концентрация регенерационного раствора, %	$C_{p.p.}$	-
Расход воды на приготовление регенерационного раствора, м ³	$V_{p.p.} = \frac{\delta \cdot 100}{C_{p.p.} \cdot 10^3}$	-
Удельный расход воды на отмывку, м ³ /м ³	a	1
Расход воды на отмывку, м ³	$V_{omm} = f \cdot h_{cl} \cdot a$	10,92
Суммарный расход воды на регенерацию, м ³	$V_{\Sigma} = V_{e3p} + V_{p.p.} + V_{omm}$	109,2
Часовой расход воды на собственные нужды, м ³ /ч	$q_{cm}^{c.h.} = \frac{V_{\Sigma} \cdot m}{24}$	21,43
Скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч	$\omega_{p.p.}$	-
Время пропуска регенерационного раствора, мин	$\tau_{p.p.} = \frac{V_{p.p.} \cdot 60}{f \cdot \omega_{p.p.}}$	-
Скорость отмычки, м/ч	ω_{omm}	8
Время отмычки, мин	τ_{omm}	9,0
Суммарное время регенерации фильтра, мин	$\tau_{\Sigma} = \tau_{e3p} + \tau_{p.p.} + \tau_{omm}$	24,0

2.2 Расчет декарбонизатора с насадкой из колец Рашига

Частично обессоленная вода после анионитовых фильтров первой ступени поступает в декарбонизаторы.

Концентрация CO_2 , мг/кг, на входе в декарбонизатор для схем в отсутствие известкования определяется по соотношению, мг/кг:

$$\text{CO}_2^{\text{ex}} = 0,268 \cdot \text{Щ}_6^3 + 44 \cdot \text{Щ}_6 \quad (1)$$

где Щ_6 – щелочность бикарбонатная после предочистки;

$$\text{CO}_2^{\text{ex}} = 0,268 \cdot 1,585^3 + 44 \cdot 1,585 = 70,81$$

Количество CO_2 , удаленного в декарбонизаторе, кг/ч:

$$\sigma_{\text{CO}_2} = \frac{Q_d \cdot (C_{\text{CO}_2}^{\text{ex}} - C_{\text{CO}_2}^{\text{вых}})}{10^3}, \quad (2)$$

$$\sigma_{\text{CO}_2} = \frac{406,48 \cdot (70,81 - 5)}{10^3} = 26,7.$$

Необходимая площадь десорбции при температуре 30°C (с учетом коэффициента десорбции $K_{\text{ж}} = 0,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$ и средней движущей силы десорбции $\Delta C_{\text{CO}_2}^{\text{cp}} = 0,015 \text{ кг}/\text{м}^3$, определяемых по справочной литературе), м²:

$$F_{\text{дек}} = \frac{\sigma_{\text{CO}_2}}{K_{\text{ж}} \cdot \Delta C_{\text{CO}_2}^{\text{cp}}}, \quad (3)$$

$$F_{\text{дек}} = \frac{26,75}{0,5 \cdot 0,015} = 3566,6.$$

Площадь требуемой поверхности насадки, м²:

$$F_{\text{нас}} = (1 - 0,075) \cdot F_{\text{дек}}, \quad (4)$$

$$F_{\text{нас}} = (1 - 0,075) \cdot 3566,6 = 3299.$$

Объём насадки при удельной поверхности колец Рашига $f_{kp} = 206 \text{ м}^3/\text{м}^2$, м³:

$$V_{\text{нас}} = \frac{F_{\text{нас}}}{f_{kp}}, \quad (5)$$

$$V_{\text{нac}} = \frac{3299}{206} = 16,015.$$

Площадь поперечного сечения декарбонизатора при плотности орошения $\delta=60 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$, м^2 :

$$f^\delta = \frac{Q^\delta}{\delta}, \quad (6)$$

$$f^\delta = \frac{406,48}{60} = 6,78.$$

Диаметр декарбонизатора, м:

$$d^\delta = \sqrt{\frac{4 \cdot f^\delta}{4}}, \quad (7)$$

$$d^\delta = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,78}{4}} = 2,6.$$

Высота насадки колец Рашига, м:

$$h_{\text{нac}} = \frac{V_{\text{нac}}}{f_\delta}, \quad (8)$$

$$h_{\text{нac}} = \frac{16,015}{6,78} = 2,36.$$

Расход воздуха на декарбонизатор воды, $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$Q_{\text{возд}} = 40 \cdot Q^\delta, \quad (9)$$

$$Q_{\text{возд}} = 40 \cdot 406,48 = 16259,2.$$

Аэродинамическое сопротивление декарбонизатора, мм.вод.ст.:

$$H_\delta = 30 \cdot h_{\text{нac}} + 40, \quad (10)$$

$$H_\delta = 30 \cdot 2,36 + 40 = 110,9.$$

2.3 Расчет осветлителя

Часовой расход воды после осветлителя, м³/ч:

$$Q_{oc6} = Q_m + q_m^{c.h.}, \quad (11)$$

$$Q_{oc6} = 428,52 + 21,43 = 449,95.$$

Производительность каждого осветлителя, м³/ч:

$$Q_o = \frac{1,25 \cdot Q_{oc6}}{n} + q_{np}, \quad (12)$$

где n – количество устанавливаемых осветлителей; q_{np} – часовой расход воды на продувку осветлителей, равный $0,03 \cdot Q_{oc6}$

$$q_{np} = 0,03 \cdot 428,52 = 13,5,$$

$$Q_o = \frac{1,25 \cdot 428,52}{3} + 13,5 = 200,98.$$

3 Индивидуальное задание

3.1 Обоснование реконструкции ВПУ

Рассчитанный выше вариант ВПУ по проекту 1969 г. является морально устаревшим, т.к. используемые фильтрующие и ионитные материалы имеют низкие технологические характеристики. Чтобы довести качество воды до требований норм ПТЭ к питательной воде барабанных котлов высокого давления, необходима финишная доочистка воды.

В бакалаврской работе предлагается следующий вариант реконструкции ВПУ:

- а) заменить коагулянт - сернокислый алюминий на оксихлорид алюминия;
- б) в качестве обессоливающей установки использовать противоточные фильтры по технологии Апкоре (UPCORE);
- в) перед обессоливающей установки установить ультрафильтрационную установку.

Внедрение передовых технологий и материалов при реконструкции водоподготовительной установки позволит получить следующие преимущества по сравнению с проектной схемой:

- а) стадия обессоливания воды упростится и станет одноступенчатой;
- б) снизится расход химических реагентов (кислоты, щелочи);
- в) сократится количество арматуры и трубопроводов;
- г) уменьшится количество воды на собственные нужды ВПУ и, соответственно, количество сточных вод;
- д) уменьшится площадь цеха ХВО.

При этом качество обессоленной воды обеспечит соответствие нормативным требованиям ПТЭ по качеству питательной воды паровых котлов.

В связи с этим изменится принципиальная схема ВПУ.

Принципиальная схема ВПУ после реконструкции представлена на рисунке 3.

3.2 Расчет схемы ВПУ с применением технологии Апкоре

Процесс UPCORE - это современная технология, разработанная специалистами американского концерна DOW Chemical, предполагающая очистку воды в нисходящем потоке с применением ионообменных смол и регенерацию в восходящем потоке в зажатом слое ионитов. Эта усовершенствованная технология обладает всеми преимуществами противоточного процесса регенерации, что обеспечивает значительную производительность и экономичность, и в то же время свободна от недостатков, присущих противоточным технологиям предшествующих поколений[2].

Отличительной особенностью технологии Апкоре является использование смол с однородным гранулометрическим составом. Применение этих смол обеспечивает лучшую кинетику, более высокую рабочую обменную емкость и продолжительность фильтроцикла, а также уменьшение потребления реагентов и промывочной воды[2].

По данной технологии обеспечивается максимальное заполнение фильтра ионообменной смолой с образованием минимального свободного пространства над ионитами, которое частично заполняется плавающим инертным материалом. Над ним располагается верхнее дренажно-распределительное устройство (ДРУ). Подаваемая на очистку вода вводится через верхнее ДРУ, проходит слой инерта, слой смолы и отводится через нижнее ДРУ.

По окончании рабочего цикла начинается цикл регенерации. В начале промывочная вода подается через нижнее ДРУ и быстро поднимает слой смолы и инерта до верхнего ДРУ, при этом внизу фильтра образуется свободное пространство, которое сохраняется во время пропуска регенерационного раствора, подаваемого восходящим потоком сразу после уплотнения смолы. В том же направлении подается и промывочная вода для вытеснения остатков регенерационного раствора. После завершения промывки подача воды прекращается, и слой смолы свободно оседает в течение 5-10 минут[6].

Схема очистки воды в противоточных фильтрах по технологии Апкоре показана на рисунке 4.

3.2.1 Расчет анионитных фильтров

Расчетная производительность анионитных фильтров, м³/ч:

$$Q_A = 400$$

Количество воды, выдаваемое за фильтроцикл, м³:

$$Q_\phi = Q_A \cdot 24, \quad (13)$$

$$Q_\phi = 400 \cdot 24 = 9600.$$

Количество воды, поступающей на фильтры:

а) содержание кремнекислоты, мг-экв/л[3]:

$$C^{SiO_3^{2-}} = 0,15$$

б) содержание хлоридов в воде, мг-экв/л[3]:

$$C^{Cl^-} = 0,09$$

в) содержание углекислоты после декарбонизатора при концентрации $CO_2 = 7$ мг/кг, мг-экв/л[3]:

$$C^{CO_2} = 0,1$$

г) содержание сульфатов в воде, мг-экв/л[3]:

$$C^{SO_4^{2-}} = 0,21$$

Характеристика фильтров[6]:

- а) Диаметр D=1 м;
- б) Площадь фильтрования F=0,785 м²;
- в) Высота слоя $h_A = 1$ м;
- г) Скорость фильтрования 45 м/ч

Характеристика анионита[7]:

- а) марка DOWEX UPCORE Mono A-500, сильноосновный анионит тип 1;
- б) рабочая обменная способность $E_{раб} = 1000$ г-экв/м³
- в) высота загрузочного слоя $h_A = 1$ м
- г) удельный расход 100% едкого натра на регенерацию анионита $k=100$ кг/м³ [3];

- д) скорость пропуска регенерационного раствора щелочи $W_{p,p} = 4 \text{ м}^3/\text{ч}$ [1];
 е) Удельный вес 4% раствора едкого натра $\gamma_{cl}^a = 1,043 \text{ т}/\text{м}^3$ [3];
 ж) Удельный вес 42% раствора едкого натра $\gamma_{cl}^a = 1,449 \text{ т}/\text{м}^3$ [3];
 з) Интенсивность взрыхления анионита $\alpha = 3 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ [4];
 и) Удельный расход воды на послерегенерационную отмывку $\beta = 18 \text{ м}^3/\text{м}^3$ [4];
 к) Продолжительность взрыхления $\tau_{exp} = 5 \text{ мин}$ [4];
 л) Скорость отмыки анионита: в первой половине отмычки $W_{omm}^1 = 4 \text{ м}/\text{ч}$, во второй половине отмычки $W_{omm}^2 = 10 \text{ м}/\text{ч}$ [4];
 м) Средняя скорость отмыки анионита $W_{omm}^{cp} = 7 \text{ м}/\text{ч}$ [4];

Количество рабочих фильтров:

$$n = \frac{Q_A}{F \cdot W}, \quad (14)$$

где Q_A – расчетная производительность анионитных фильтров, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 F – площадь фильтрования, м^2 ;
 W – Скорость фильтрования, $\text{м}/\text{ч}$:

$$n = \frac{400}{0,785 \cdot 45} = 11,3.$$

Принимаем 11 фильтров, один фильтр в резерве.
 Действительная скорость фильтрования, $\text{м}/\text{ч}$:

$$W_{dc} = \frac{Q_A}{F}, \quad (15)$$

где Q_A – расчетная производительность анионитных фильтров, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 F – площадь фильтрования, м^2 :

$$W_{dc} = \frac{400}{0,785} = 509,6.$$

Суточное число регенераций каждого фильтра, рег:

$$n = \frac{24 \cdot Q_A \cdot C}{F \cdot h_A \cdot E_{reg} \cdot n}, \quad (16)$$

где Q_A – расчетная производительность анионитных фильтров, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 F – площадь фильтрования, м^2 ;
 C – концентрация примесей, $\text{мг-экв}/\text{л}$;

h_A – высота слоя анионита, м;
 $E_{раб}$ – рабочая обменная способность, г-экв/м³;
 n – количество фильтров, шт.:

$$n = \frac{24 \cdot 400 \cdot (0,15 + 0,21 + 0,1 + 0,09)}{0,785 \cdot 1 \cdot 1000 \cdot 11} = 0,61.$$

Расход воды на взрыхление фильтра, м³:

$$Q_{взр} = \frac{60 \cdot \alpha \cdot F \cdot \tau_{взр}}{1000}, \quad (17)$$

где α – интенсивность взрыхления анионита, л/(с·м²);
 F – площадь фильтрования, м²;
 $\tau_{взр}$ – продолжительность взрыхления, мин;

$$Q_A = \frac{60 \cdot 3 \cdot 0,785 \cdot 5}{1000} = 0,7.$$

Расход 100% NaOH на одну регенерацию при удельном расходе, кг:

$$Q_{100} = F \cdot h_A \cdot k, \quad (18)$$

где F – площадь фильтрования, м²;
 k – удельный расход 100% едкого натра на регенерацию анионита, кг/м³;
 h_A – высота слоя анионита, м:

$$Q_{100} = 0,785 \cdot 1 \cdot 100 = 78,5$$

Расход 42% NaOH на одну регенерацию при удельном расходе, м³:

$$Q_{42} = \frac{F \cdot h_A \cdot k}{0,42 \cdot \gamma_{42} \cdot 1000}, \quad (19)$$

где F – площадь фильтрования, м²;
 k – удельный расход 100% едкого натра на регенерацию анионита, кг/м³;
 γ_{42} – удельный вес 42% раствора едкого натра, т/м³;
 h_A – высота слоя анионита, м:

$$Q_{42} = \frac{0,785 \cdot 1 \cdot 100}{0,42 \cdot 1,449 \cdot 1000} = 0,129.$$

Расход 4% NaOH на одну регенерацию при удельном расходе, м³:

$$Q_4 = \frac{F \cdot h_A \cdot k}{0,04 \cdot \gamma_4 \cdot 1000}, \quad (20)$$

где F – площадь фильтрования, м²;
 k – удельный расход 100% едкого натра на регенерацию анионита, кг/м³;
 γ_4 – удельный вес 4% раствора едкого натра, т/м³;
 h_A – высота слоя анионита, м:

$$Q_{42} = \frac{0,785 \cdot 1 \cdot 100}{0,04 \cdot 1,043 \cdot 1000} = 1,88.$$

Теоретический расход 100% NaOH, кг:

$$Q_{meop} = \frac{F \cdot h_A \cdot E_{pa\delta} \cdot \mathcal{E}_{NaOH}}{1000}, \quad (21)$$

где F – площадь фильтрования, м²;
 $E_{pa\delta}$ – рабочая обменная способность, г-экв/м³;
 \mathcal{E}_{NaOH} – эквивалент NaOH;
 h_A – высота слоя анионита, м:

$$Q_{meop} = \frac{0,785 \cdot 1 \cdot 1000 \cdot 40}{1000} = 31,4.$$

Расход воды на приготовление регенерационного раствора щелочи, м³:

$$Q_{pe\delta} = Q_4 - Q_{42}, \quad (22)$$

где Q_4 – расход 4% NaOH на одну регенерацию, м³;
 Q_{42} – расход 42% NaOH на одну регенерацию, м³;

$$Q_{pe\delta} = 1,88 - 0,129 = 1,751$$

Время пропуска регенерационного раствора, мин:

$$\tau_{pee} = \frac{Q_4 \cdot 60}{W_{p.p.} \cdot F}, \quad (23)$$

где Q_4 – расход 4% NaOH на одну регенерацию, м³;
 F – площадь фильтрования, м²;
 $W_{p.p.}$ – скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч;

$$\tau_{pee} = \frac{1,88 \cdot 60}{4 \cdot 0,785} = 35,954$$

Расход воды на отмывку фильтра, м³:

$$Q_{omm} = \beta \cdot F \cdot h_A, \quad (24)$$

где F – площадь фильтрования, м²;
 h_A – высота слоя анионита, м;
 β – удельный расход воды на послерегенерационную отмывку, м³/м³:

$$Q_{omm} = 18 \cdot 0,785 \cdot 1 = 14,13$$

Расход воды на отмывку фильтра со скоростью W_{omm}^1 в течение 20 минут, м³:

$$Q_{omm} = W_{omm}^1 \cdot F, \quad (25)$$

где F – площадь фильтрования, м²;

$$Q_{omm} = 4 \cdot 0,785,$$

Время на отмывку фильтра со скоростью W_{omm}^2 , мин:

$$\tau_{omm2} = \frac{60 \cdot (Q_{omm} - Q_{omm4})}{W_{omm}^2 \cdot F}, \quad (26)$$

где F – площадь фильтрования, м²;
 Q_{omm} – расход воды на отмывку фильтра, м³;
 Q_{omm4} – расход воды на отмывку фильтра со скоростью W_{omm}^1 , м³/ч;
 W_{omm}^2 – скорость отмывки анионита во второй половине отмывки, м/ч;

$$\tau_{om2} = \frac{60 \cdot (14,13 - 3,14)}{10 \cdot 0,785} = 84$$

Общее время отмывки:

$$\tau_{om} = \tau_{om1} + \tau_{om2}, \quad (26)$$

где τ_{om1} – время на отмывку фильтра со скоростью W_{om}^1 , мин;
 τ_{om2} – время на отмывку фильтра со скоростью W_{om}^2 , мин;

$$\tau_{om} = 20 + 84 = 104$$

Длительность фильтроцикла, ч:

$$T = \frac{F \cdot h_A \cdot E_{раб} \cdot n}{Q_A \cdot C}, \quad (27)$$

где F – площадь фильтрования, м²;
 $E_{раб}$ – рабочая обменная способность, г-экв/м³;
 n – количество фильтров, шт;
 h_A – высота слоя анионита, м;
 Q_A – расчетная производительность анионитных фильтров, м³/ч;
 C – концентрация примесей, мг-экв/л;

$$T = \frac{0,785 \cdot 1 \cdot 1000 \cdot 11}{400 \cdot (0,15 + 0,21 + 0,1 + 0,09)} = 39,25$$

Среднечасовой расход воды на собственные нужды анионитных фильтров, м³:

$$Q_A^{ch} = \frac{(Q_{взр} \cdot Q_{рег} \cdot Q_{ом}) \cdot N}{24}, \quad (28)$$

где $Q_{взр}$ – расход воды на взрыхление фильтра, м³;
 $Q_{рег}$ – расход воды на приготовление регенерационного раствора щелочи, м³;
 N – суточное число регенераций, рег;
 $Q_{ом}$ – расход воды на отмывку фильтра, м³;

$$Q_A^{ch} = \frac{(0,7 \cdot 1,75 \cdot 14,13) \cdot 0,61}{24} = 0,42$$

3.2.2 Расчет катионитовых фильтров

Расчетная производительность катионитовых фильтров, м³/ч:

$$Q_h = Q_A + Q_A^{ch}, \quad (29)$$

где Q_A – расчетная производительность, м³/ч;

Q_A^{ch} – среднечасовой расход воды на собственные нужды анионитных фильтров, м³/ч;

$$Q_h = 400 + 0,42 = 400,42$$

Количество воды, выдаваемое за фильтроцикл, м³:

$$Q_\phi = Q_h \cdot 24, \quad (30)$$

где Q_h – расчетная производительность катионитовых фильтров, м³/ч;

$$Q_\phi = 400,42 \cdot 24 = 9610,14$$

Качество воды, поступающей на фильтры. Содержание катионов в воде после коагуляции, мг-экв/л:

$$\sum K = C_{Ca} + C_{Mg} + C_{Na}, \quad (31)$$

где C_{Ca} – содержание кальция в исходной воде, мг-экв/л;

C_{Mg} – содержание магния в исходной воде, мг-экв/л;

C_{Na} – содержание натрия в исходной воде, мг-экв/л;

$$\sum K = 1,85 + 0,76 + 0,155 = 2,765$$

Характеристика фильтров[6]:

- 1) Диаметр D=1,00 м;
- 2) Площадь фильтрования F=0,785 м²;
- 3) Высота слоя $h_{cl} = 1\text{м}$;
- 4) Скорость фильтрования W=45 м/ч[1]

Характеристика катионита[7]:

- 1) Марка – DOWEX UP CORE Mono C-600;
- 2) Рабочая обменная способность $E_{раб} = 1800 \text{ г-экв/м}^3$

-Удельный расход 100% серной кислоты на регенерацию катионита k=20 кг/м³[3];

- $W_{p.p}$ - Скорость пропуска регенерационного раствора кислоты $= 10 \text{ м/ч}$ [1];
 - Удельный вес 1,5% раствора серной кислоты $\gamma^{1,5} = 1,008 \text{ т/м}^3$ [3];
 - Удельный вес 92% раствора серной кислоты $\gamma^{92} = 1,824 \text{ т/м}^3$ [3];
 - Интенсивность взрыхления катионита $\alpha = 3 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ [4];
 - Продолжительность взрыхления $\tau_{\text{взр}} = 12 \text{ мин}$ [4];
 - Удельный расход воды на отмывку $\beta^\kappa = 12 \text{ м}^3/\text{м}^3$ [4];
 - Скорость отмывки катионита $W_{omn} = 10 \text{ м/ч}$ [4].

Количество рабочих фильтров, шт:

$$n = \frac{Q_H}{F \cdot W}, \quad (32)$$

где Q_H – расчетная производительность Н-катионитовых фильтров, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 F – площадь фильтрования, м^2 ;
 W – скорость фильтрования, м/ч ;

$$n = \frac{400,42}{0,785 \cdot 45} = 11,3$$

Принимаем 11 фильтров, один фильтр в резерве.

Действительная скорость фильтрования, м/ч :

$$W_{dc} = \frac{Q_H}{F} = \frac{400,42}{0,785} = 510,09 \quad (33)$$

Расход воды на взрыхление фильтра, м^3 :

$$Q_{\text{взр}} = \frac{60 \cdot \alpha \cdot F \cdot \tau_{\text{взр}}}{1000} = \frac{60 \cdot 3 \cdot 0,785 \cdot 10}{1000} = 1,413 \quad (34)$$

где α – интенсивность взрыхления катионита, $\text{л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$;
 F – площадь фильтрования, м^2 ;
 $\tau_{\text{взр}}$ – продолжительность взрыхления, мин;

Расход воды на отмывку фильтра, м^3 :

$$Q_{omn} = \beta \cdot F \cdot h_H = 12 \cdot 0,785 \cdot 1 = 9,42 \quad (35)$$

где β – удельный расход воды на послерегенерационную отмывку, $\text{м}^3/\text{м}^3$;
 F – площадь фильтрования, м^2 ;
 h_H – высота слоя катионита, м ;

Время отмывки фильтра, мин:

$$\tau_{omn} = \frac{60 \cdot Q_{omn}}{W_{omn} \cdot F} = \frac{60 \cdot 9,42}{10 \cdot 0,785} = 72 \quad (36)$$

где Q_{omn} – расход воды на отмывку фильтра, м³;
 F – площадь фильтрования, м²;
 W_{omn} – скорость отмывки катионита, м/ч;

Суточное число регенераций фильтра, рег:

$$N = \frac{24 \cdot Q_H \cdot \sum K}{h_H \cdot F \cdot E_{раб} \cdot n} = \frac{24 \cdot 400,42 \cdot 2,77}{1 \cdot 0,785 \cdot 1800 \cdot 11} = 1,71 \quad (37)$$

где Q_H – расчетная производительность Н-катионитовых фильтров, м³/ч;
 F – площадь фильтрования, м²;
 $\sum K$ – концентрация примесей, мг-экв/л;
 h_H – высота слоя катионита, м;
 $E_{раб}$ – рабочая обменная способность, г-экв/м³;
 n – количество фильтров, шт.

Расход 100% H_2SO_4 на одну регенерацию, кг:

$$Q_{100} = F \cdot h_H \cdot k = 0,785 \cdot 1 \cdot 20 = 15,7 \quad (38)$$

где h_H – высота слоя катионита, м;
 F – площадь фильтрования, м²;
 k – удельный расход 100% серной кислоты на регенерацию катионита, кг/м³;

Расход 1,5% H_2SO_4 на одну регенерацию при удельном расходе, м³:

$$Q_{1,5} = \frac{F \cdot h_H \cdot k}{0,015 \cdot \gamma_{1,5} \cdot 1000} = \frac{0,785 \cdot 1 \cdot 20}{0,015 \cdot 1,008 \cdot 1000} = 1,04 \quad (39)$$

где h_H – высота слоя катионита, м;
 F – площадь фильтрования, м²;
 k – удельный расход 100% серной кислоты на регенерацию катионита, кг/м³;
 $\gamma_{1,5}$ – удельный вес 1,5% раствора серной кислоты, т/м³;

Расход 92% H_2SO_4 на одну регенерацию при удельном расходе, м³:

$$Q_{92} = \frac{F \cdot h_H \cdot k}{0,92 \cdot \gamma_{92} \cdot 1000} = \frac{0,785 \cdot 1 \cdot 20}{0,92 \cdot 1,824 \cdot 1000} = 0,0094 \quad (40)$$

где h_H – высота слоя катионита, м;
 F – площадь фильтрования, м²;
 k – удельный расход 100% серной кислоты на регенерацию катионита, кг/м³;
 γ_{92} – удельный вес 92% раствора серной кислоты, т/м³;

Расход воды на приготовление регенерационного раствора кислоты, м³:

$$Q_{pez} = Q_{1,5} - Q_{92} = 1,04 - 0,0094 = 1,029 \quad (41)$$

Время пропуска регенерационного раствора, мин:

$$\tau_{pez} = \frac{Q_{1,5} \cdot 60}{W_{p.p.} \cdot F} = \frac{1,04 \cdot 60}{10 \cdot 0,785} = 7,94 \quad (42)$$

где $Q_{1,5}$ – расход 1,5% H_2SO_4 на одну регенерацию, м³;
 F – площадь фильтрования, м²;
 $W_{p.p.}$ – скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч;

Длительность фильтроцикла, ч:

$$T = \frac{F \cdot h_H \cdot E_{раб} \cdot n}{Q_H \cdot \sum K} = \frac{0,785 \cdot 1 \cdot 1800 \cdot 11}{400,42 \cdot 2,77} = 14,04 \quad (43)$$

где h_H – высота слоя катионита, м;
 F – площадь фильтрования, м²;
 $\sum K$ – концентрация примесей, мг-экв/л;
 $E_{раб}$ – рабочая обменная способность, г-экв/м³;
 n – количество фильтров, шт.;
 Q_H – расчетная производительность Н-катионитовых фильтров, м³/ч;

Среднечасовой расход воды на собственные нужды катионитовых фильтров, м³:

$$Q_H^{ch} = \frac{(Q_{бзр} \cdot Q_{pez} \cdot Q_{омм}) \cdot N}{24} = \frac{(1,413 + 1,029 + 9,42) \cdot 1,71}{24} = 0,85 \quad (44)$$

Полученные результаты сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Технологический расчет фильтров

Показатель, единица измерения	Расчетная формула или обозначение	Тип фильтра		
		A	H	M
Расчетная производительность, м ³ /ч	Q_{cm}	400	400,042	428,52
Скорость фильтрования, м/ч	ω	45	45	15,75
Требуемая площадь фильтрования, шт.	F	8,9	8,9	27,2
Число фильтров (в работе + регенерация), шт.	$n + n_p$	11	11	8
Действительная скорость фильтрования ,м/ч	ω_d	509,6	510,09	5,89
Тип загруженного материала		DOWEX UPCORE A-500	DOWEX UPCORE C-600	Антрацит
Рабочая емкость, г·ЭКВ/м ³	E_p	1000	1800	2
Принятая высота слоя, м	h_{cl}	1	1	1,2
Продолжительность фильтроцикла, ч	T	39,25	14,04	40,77
Суточное число регенераций всех фильтров, рег/сут	N	0,61	1,71	4,71
Удельная расход 100%-го реагента, кг/м ³	b	100	20	-
Расход реагента на 1 регенерацию, кг	$\delta = f \cdot h_{cl} \cdot b$	78,5	15,7	-
Суточный расход реагента, кг	$\delta_{sym} = \delta \cdot m$	47,885	26,847	-
Время взрыхления фильтра, мин	τ_{exp}	5	10	15
Расход воды на взрыхление, м ³	Q_{exp}	0,7065	1,413	98,28
Концентрация регенерационного раствора, %	$C_{p.p.}$	4	1,5	-
Расход воды на приготовление регенерационного раствора, м ³	$V_{p.p.} = \frac{\delta \cdot 100}{C_{p.p.} \cdot 10^3}$	1,75	1,029	-

Продолжение таблицы 6

Расход воды на отмывку, м ³	Q_{om}	14,13 3,14	9,42	10,92
Суммарный расход воды на 1 регенерацию, м ³	ΣQ	16,6	11,862	109,92
Часовой расход воды на собственные нужды, м ³ /ч	$q_{cm}^{c.h.} = \frac{V_{\Sigma} \cdot m}{24}$	0,4227	0,85	21,43
Скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч	$\omega_{p.p}$	4	10	-
Время пропуска регенерационного раствора, мин	$\tau_{p.p} = \frac{V_{p.p} \cdot 60}{f \cdot \omega_{p.p}}$	35,954	7,94	-
Скорость отмывки, м/ч	W_{om}	4 10	10	8
Время отмывки, мин	τ_{om}	84	72	9
Суммарное время регенерации фильтра, мин	$\Sigma \tau$	104	89,94	24

3.2.3 Расчет ультрафильтрационной установки

Ультрафильтрация - это барометрический процесс, заключающийся в том, что жидкость под давлением «продавливается» через полупроницаемую перегородку. Размер отверстий ультрафильтрационных мембран лежит в пределах от 5 нм до 0,1 мкм.

Отличительные особенности ультрафильтрационной установки:

1. небольшие габариты оборудования;
2. простота обслуживания;
3. малые сроки изготовления и монтажа.

В процессе ультрафильтрации происходит удаление взвешенных веществ, которые не удалились на механических фильтрах (содержание менее 1 мг/дм³), снижение окисляемости на 40 %, уменьшается содержание железа на 60-80 %.

Процесс ультрафильтрации происходит в аппарате рулонного типа. Он представляет собой трубу, в которую вставлены рулонные фильтрующие элементы. Эти элементы изготавливают накручиванием вокруг центральной водоотводящей трубы со щелями полупроницаемых мембран, разделенных дренажными устройствами и турбулизаторами-разделителями.

Вода после механических фильтров подается на внешнюю поверхность рулонного фильтрующего элемента, движется по турбулизатору-разделителю по спирали к центру элемента. Здесь собирается очищенная вода и через торец

рулонного фильтрующего элемента выводится концентрированный раствор солей. Таким образом, вода при помощи мембран разделяется на 2 потока: очищенную воду (пермеат) и концентрированный раствор солей (концентрат). Пермеат из каждого мембранных элемента собирается в коллекторе пермеата и с остаточным давлением до 0,4 МПа поступает к фильтрам. Концентрат собирается в коллекторе концентрата и затем направляется в промывневую канализацию.

Степень очистки воды на ультрафильтрационной установке составляет 95%, т.е. из всего количества воды, поступающей на установку, 95% составляет пермеат, а 5% сбрасывается в качестве концентрата.

Для удаления загрязнений с поверхности и из пор мембраны используют метод обратных промывок, при котором фильтрат пропускают через мембрану в направлении, обратном направлению фильтрования. Такие промывки производятся намного чаще, чем промывки сорбционных фильтров - от 1 до 5 раз в час, но их продолжительность составляет 10-30 секунд, поэтому объем сбрасываемой воды составляет 2-5 % от объема фильтрата.

В процессе длительной работы производительность мембранных элементов постепенно уменьшается, т.к. на поверхности и в порах мембраны сорбируются различные вещества, увеличивающие общее гидравлическое сопротивление мембранных аппаратов. Для восстановления первоначальной производительности несколько раз в год проводится химическая промывка серной кислотой, для удаления накопленных загрязнений.

Срок службы фильтрующих элементов составляет 6-7 лет.

На основании приведенных фактов можно сделать вывод о целесообразности применения ультрафильтрационной установки.

Ультрафильтрационная установка ЭК-4МУ-80 укомплектовывается 40 мембранными модулями производства Norit (Голландия), по 10 модулей в каждом из 4 блоков. Установка обеспечивает требуемую производительность - 400 м³/ч.

3.2.4 Расчет осветлителя

Важнейшим фактором, от которого зависит длительность работы мембран, является качество воды, прошедшей коагуляцию. Для более полного удаления взвешенных веществ из исходной воды предлагается заменить коагулянт - сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3$, на оксихлорид алюминия - $Al_2(OH)_5Cl$, который обладает лучшей коагулирующей способностью, при этом не требуется ввода флокулянта (полиакриламида) и предварительного подогрева воды до 30°C.

Оксихлорид алюминия $Al_2(OH)_5Cl$ - представляет собой зеленоватые кристаллы, получаемые растворением осажденного гидроксида алюминия в 0,5-

1 % растворе НС1. Выпускается в виде 35 % раствора. Не имеет нерастворимых примесей, в отличие от $Al_2(SO_4)_3$.

Удельный расход технического коагулянта $Al_2(SO_4)_3$: $k_k = 50 \text{ г/м}^3$ [3].

Удельный расход технического коагулянта $Al_2(OH)_5Cl$: $k_k = 4,6 \text{ г/м}^3$ [3].

Расход технического коагулянта, кг:

$$Q_u^\kappa = \frac{Q_o^1 \cdot k_k \cdot n}{1000} = \frac{200,98 \cdot 4,6 \cdot 3}{1000} = 2,77, \quad (45)$$

где Q_o^1 – количество воды, обрабатываемое в осветлителе с учетом продувки, $\text{м}^3/\text{ч}$;

k_k – удельный расход 100% коагулянта, г/м^3 ;

n – число осветлителей.

Суточный расход технического коагулянта, кг:

$$Q_{sym}^\kappa = Q_u^\kappa \cdot 24 = 2,77 \cdot 24 = 66,56 \quad (46)$$

Месячный расход технического коагулянта, т:

$$Q_{mes}^\kappa = \frac{Q_{sym}^\kappa \cdot 30}{1000} = \frac{66,56 \cdot 30}{1000} = 1,997 \quad (47)$$

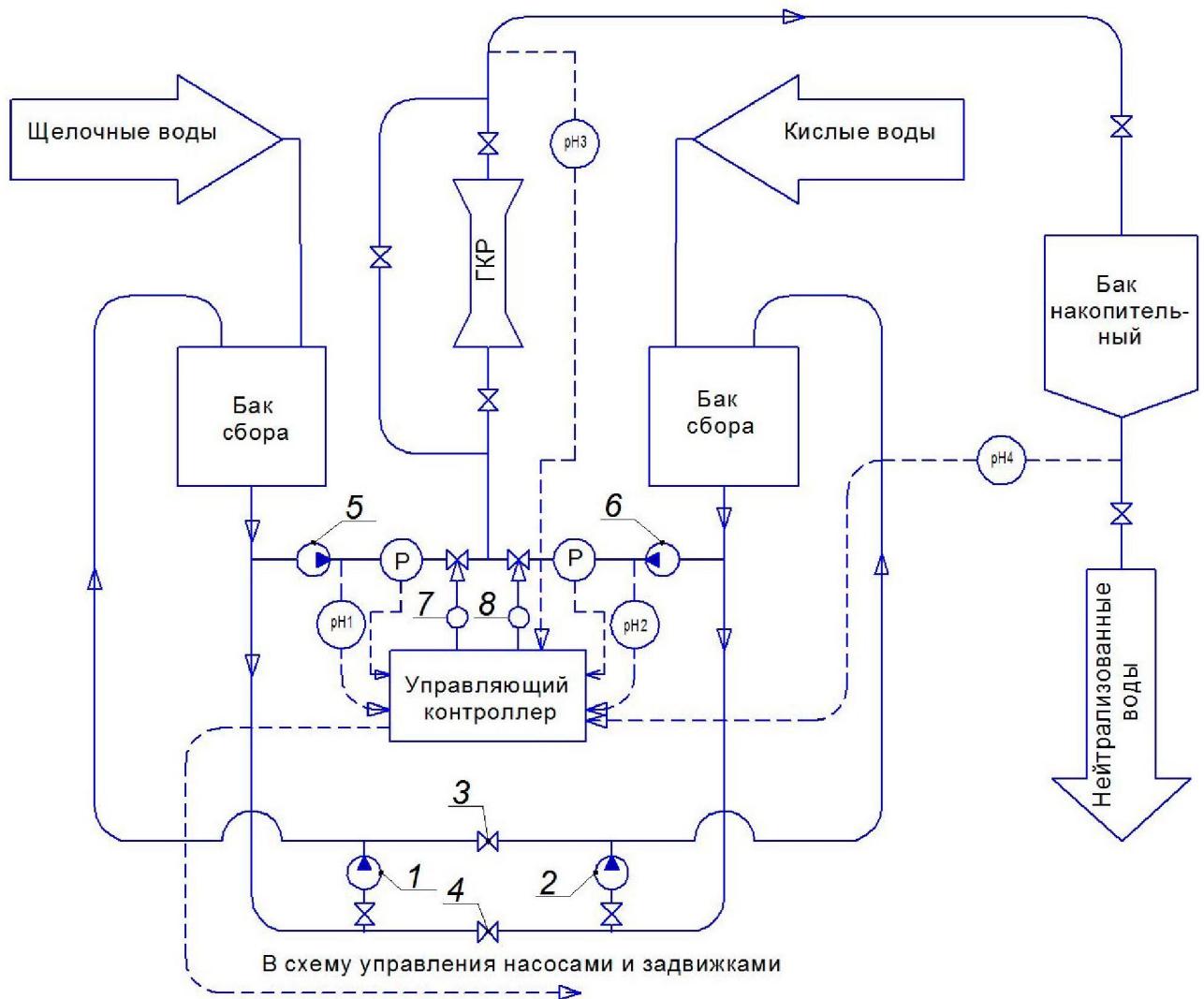
Таблица 7 – Сравнительные показатели коагуляции с $Al_2(SO_4)_3$ и $Al_2(OH)_5Cl$

Показатели	$Al_2(SO_4)_3$	$Al_2(OH)_5Cl$
Расход технического коагулянта, т/год	520,94	23,806
Стоимость 1 кг коагулянта, руб/кг	28	52,5
Итого, руб	14586320	1249815

4 Экономическая оценка реконструкции ВПУ [изъято 2 страницы]

5 Охрана окружающей среды

Эксплуатация ВПУ связана с потреблением больших количеств извести, коагулянта, регенерантов. Стоки предочистки содержат шлам различного состава, определяемого ее типом. Основная часть регенерирующих веществ переходит в сточные регенерационные воды и является потенциальным источником загрязнения природных водных объектов.



1, 2 – циркуляционный насос; 3, 4 – задвижка; 5, 6 – насос нагнетающий; 7, 8 – регулятор расхода; pH1, pH2, pH3, pH4 – pH-метр; Р – расходомер

Рисунок 5 – Принципиальная схема автоматизированного узла нейтрализации сточных вод цеха химводоочистки

Процесс очистки стоков начинается с усреднения концентрации щелочи и кислоты в их баках сбора. Для этого при закрытых задвижках 3 и 4 включаются насосы 1 и 2 и в течении 10-15 минут осуществляется циркуляция вод в баках сбора щелочных и кислых вод. После отключения насосов 1 и 2 включаются

насосы 5 и 6, которые через регуляторы расхода 7 и 8 подают щелочные и кислые воды на взаимную нейтрализацию в ГКР (гидродинамический кавитационный реактор), показатель pH смеси которого непрерывно определяется и передаётся на управляющий контроллер pH-метром pH-3.

Контроллер вырабатывает корректирующий сигнал и передает его на исполнительные механизмы регулирующих задвижек 7 и 8 для изменения соотношения потоков щелочных и кислых вод. В случае, если запас щелочных стоков исчерпан до завершения нейтрализации кислых вод, в ГКР в необходимом количестве принудительно подаётся щелочной раствор.

На выходе из бака накопительного установлена электроприводная задвижка, открытие которой на сброс будет заблокировано, если показатель pH нейтрализованных вод, определяемых pH-метром pH-4 не вписывается в пределы 6,5-8,5.

6 Безопасность проектируемой ВПУ

6.1 Меры безопасности в цехе химической очистки воды

Подготовка воды для подпитки котлов осуществляется химическими методами: коагуляцией в осветителях, фильтрацией на механических и ионитных фильтрах с применением химических реагентов (серной кислоты, щелочи, аммиака и др.). Многие реагенты оказывают негативное воздействие на организм человека, также они являются легковозгораемыми и взрывоопасными.

Во время эксплуатации основного и вспомогательного оборудования в химическом цехе могут возникнуть следующие потенциальные опасности и вредности:

- а) разрыв трубопровода или арматуры;
- б) повышенные уровни шума и вибрации;
- в) появление неплотностей в резервуарах с кислотой и щелочью;
- г) ожоги при отборе проб;
- д) ожоги при работе с кислотой и щелочью;
- е) травмирование при работе со стеклянной посудой;
- ж) отравление при работе с ядовитыми веществами;
- е) поражение электрическим током.

К мерам безопасности в цехе согласно ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ «Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.» относятся:

а) расположение оборудования и ширина проходов выбраны в зависимости от условий обеспечения нужной технологии, а также с учетом безопасной эксплуатации и обслуживания оборудования, проведения ремонтов;

б) знаки безопасности, предупреждающие плакаты, звуковая и световая сигнализации;

в) весь персонал обеспечен индивидуальными средствами защиты;

г) на персонал возлагается обязанность неукоснительно соблюдать требования инструкции по охране труда и правила техники безопасности. С персоналом регулярно проводятся занятия и тренировки с периодическим контролем знаний требований инструкции по охране труда и правил техники безопасности.

6.2 Опасность поражения электрическим током

Химический цех, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), относится к помещению с повышенной опасностью, с рабочим напряжением (U_p) от 0,4 до 6 кВ.

Для защиты от поражения электрическим током по ГОСТ Р 50571.8-94 «Требования по применению мер защиты от поражения электрическим током» предусматривается:

- а) изоляция;
- б) недоступность токоведущих частей;
- в) автоматическое отключение и блокировка;
- г) индивидуальные средства защиты;
- д) защитное заземление и зануление;

К общей системе заземления подключают все металлические части оборудования, которые не находятся под напряжением, но которые могут оказаться под током вследствие замыкания на корпус.

6.3 Производственная санитария

6.3.1. Микроклимат

Основные факторы, характеризующие микроклимат в химическом цехе:

- а) пониженная температурой в холодный период года;
- б) скорость движения воздуха;
- в) повышенной относительной влажностью;

В таблицах 9 и 10 приведены оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений в соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96.

Таблица 9 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Рабочее место	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °C	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Цех XBO	Па	19-21	60-40	0,2
Теплый		Па	20-22	60-40	0,2

Таблица 10 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Рабочее место	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °C	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Цех XBO	Па	17-23	15-75	0,1-0,3
Теплый		Па	18-27	15-75	0,1-0,4

Для обеспечения оптимальных условий труда предусматривается следующее:

- а) приточно-вытяжная и общеобменная вентиляция (СНиП 41-01-03);
- б) герметизация технологического оборудования;
- в) установка систем воздушного отопления, совмещенных с вентиляцией.

6.3.2 Выделение вредных веществ

В значительных количествах в химическом цехе хранятся следующие растворы химических веществ: кислота техническая серная, едкий натр, аммиак, которые являются источником выделения вредных веществ.

Токсикологическая характеристика вредных веществ по ГН 2.2.5.1313-03 представлена в таблице 11

Таблица 11 – Токсикологическая характеристика веществ

Наименование веществ	Агрегатное состояние	Характер воздействия на организм человека	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
Аммиак	жидкое	дыхательные органы	20	4
Серный ангирид	газообразное	весь организм	1	2
Оксид серы	газообразное	весь организм	10	3
Окись углерода	газообразное	дыхательные органы	20	4
Едкие щелочи	жидкое	кожа, дыхательные органы	0,5	2
Серная кислота	жидкое	кожа, дыхательные органы	1	2
Соляная кислота	жидкое	кожа, дыхательные органы	5	2

Для защиты от вредных и ядовитых веществ предусмотрено следующее:

- а) автоматизация и механизация процессов, связанных с работой с химическими веществами;
- б) герметизация оборудования;
- в) местная, приточно-вытяжная вентиляция
- г) обеспечение персонала средствами индивидуальной защиты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы являлась разработка варианта реконструкции ВПУ Красноярской ТЭЦ-2, который представляет из себя замену двухступенчатого обессоливания с помощью ионно-обменных фильтров прямоточного типа на одноступенчатую систему обессоливания с помощью ионного-обменных фильтров противоточного типа технологии Апкоре. Также в схему был добавлен ультрафильтрационный аппарат для более глубокого осветления воды.

При применении современных мембран в модулях ультрафильтрации, а также противоточной системы очистки полученное качество обессоленной воды позволяет значительно увеличить сроки эксплуатации теплоэнергетического оборудования, фильтрационный цикл, уменьшить число и время регенераций.

Процесс UPCORE - это современная технология, разработанная американскими специалистами, предполагающая очистку воды в нисходящем потоке с применением ионообменных смол и регенерацию в восходящем потоке в зажатом слое ионитов.

Данная технология позволяет сократить количество сточных вод от регенерационных промывок. Компактность данных модулей позволяет сократить производственно-эксплуатационные расходы. Так же при этой технологии снижается количество потребляемых реагентов, что приведет к улучшению экологической обстановки.

Цены на новые высокотехнологичные смолы выше, но расход этих веществ намного меньше расхода старых ионов. В результате, затраты на работу ВПУ с использованием новой технологии Апкоре (Upcore) в разы меньше затрат на работу ВПУ, работающей по старой технологии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Руководящие указания по проектированию ХВО на электростанциях. М. : Энергия, 1972. – 32 с.
2. Информация о технологии UPCORE [Электронный ресурс] : Официальный портал ЗАО «ГИДРОГАЗ». – Режим доступа: <http://www.hgqua.ru/>
3. Справочник химика-энергетика. Водоподготовка / Под редакцией С.М. Гурвича. М. : Энергия, 1972. – 252 с.
4. Проектирование водоподготовительной установки : Методические указания по дипломному проектированию для студентов специальности 100500-«Тепловые электрические станции» /Сост. Т.И. Охорзина. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. – 20 с.
5. Таблица значений обменной способности ионитов [Электронный ресурс] : информационный портал «Кафедра Технологии воды и топлива НИУ МЭИ». – Режим доступа: <http://twt.mpei.ac.ru/>
6. Ионообменное оборудование. Прямоточные и противоточные фильтры обработки воды [Электронный ресурс] : официальный портал ЗАО «НПК Медиана-Фильтр». – Режим доступа: http://www.mediana-filter.ru/water_ion_equipment.html
7. Каталог ионообменные смолы DOWEX [Электронный ресурс] : Официальный портал ООО «СВТ Энерго». – Режим доступа: <http://www.swtsamara.ru/>
8. Каталог стоимости реагентов [Электронный ресурс] : Официальный портал компании «ЮАХИМ». – Режим доступа: http://uahim.ru/shop/CID_89.html
9. Информация о ТЭЦ-2 [Электронный ресурс] : Информационный портал «Википедия». – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D1%8F%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%A2%D0%A%D0%A6-2
10. Русак, О. Н. Безопасность жизнедеятельности в техносфере : учебник /О.Н. Русак. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 1998. – 431с.
11. Гурвич, С.М. Оператор водоподготовки / С.М. Гурвич, Ю.М. Кострикин. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 304 с.
12. Первов, А.Г. Применение комбинированных систем ультрафильтрации и ионного обмена для подготовки питательной воды паровых котлов. / А.Г. Первов, В.И. Бондаренко, Г.Г. Жабин. // Энергосбережение и водоподготовка – 2004 - № 5. – 25 с.