

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт: Электронного обучения  
Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
Кафедра Атомных и тепловых электростанций

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>СНИЖЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ЖИДКИМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОТХОДАМИ ТЭЦ КМК</b>

УДК 628.35:621.311.22(571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<b>3-5Б2АС1</b>	<b>ВЛАСОВА Анна Сергеевна</b>		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>доцент кафедры АТЭС</b>	<b>Л.А.Беляев</b>	<b>К.Т.Н., доцент</b>		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>ст. преподаватель кафедры менеджмента</b>	<b>Н.Г. Кузмина</b>	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности</b>	<b>М.Э. Гусельников</b>	<b>К.Т.Н., доцент</b>		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>ст. преподаватель кафедры атомных и тепловых электростанций</b>	<b>М.А. Вагнер</b>	-		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>атомных и тепловых электростанций</b>	<b>А.С. Матвеев</b>	<b>К.Т.Н., доцент</b>		

Томск – 2016 г.

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Универсальные компетенции</b>	
P1	Осуществлять средство общения в профессиональной сфере и в коллективе в целом, осваивать документацию, представлять и отстаивать результаты технологической деятельности.
P2	Качественно работать как индивидуально, так и в коллективе, в том числе с делением обязательств при решении технологических задач.
P3	Проявлять образцовую ответственность, наклонность и соблюдать профессиональную этику и нормы ведения технологической деятельности с выполнением социальных, экологических, социальных и культурных аспектов.
P4	Учитывать экономические вопросы и коллективные проблемы, принимать участие в активной жизни с применением правовых и моральных норм общества.
P5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P6	Проявлять способность к самообучению в течение всей жизни, неустанному улучшению в своей профессиональной деятельности, проводить обучение персонала.
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P7	Применять полученные знания в профессиональной занятости, нацеленной на производство тепловой и электрической энергий.
P8	Учитывать полученную информацию, при решении задач комплексного инженерного анализа с использованием полученных специальных знаний, документации, современных систематических способов, методов математической разработки.
P9	Выполнять предварительные технико-экономические обоснования проектных решений объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять комплексные инженерные проекты с применением полученных знаний, для достижения максимальных результатов при соответствующих техническому заданию.
P10	Представлять совокупные научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск нужной информации, анализ и интерпретацию данных, эксперимент, и их подготовку для формирования отчетов, обзоров с применением базовых и специальных знаний и современных методов.
P11	Уметь пользоваться информационными технологиями, пользоваться компьютером как средством работы с необходимой информацией и созданием

	новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, не нарушать основные соответствия информационной безопасности.
P12	Останавливаться и применять нужное оборудование для получения тепловой и электрической энергии, управлять технологическими возможностями, применять технологии для проведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экологических экономических, и других ограничений.
Специальные профессиональные	
P13	Принимать участие в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических систем, средств, оборудования, процессов и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Формировать рабочие места, организовывать малые коллективы исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, спланировать работу персонала и фондов оплаты труда, подготавливать обучение и тренировки производственного персонала, анализировать траты и оценивать результаты деятельности разных производственных подразделений, осуществлять контроль за соблюдением производственной дисциплины.
P15	Опирается на технологии испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с направлением работы, участвовать планировать и планировать в проведении плановых ремонтов и испытаний технологического оборудования, наладочных, монтажных и пусковых работ, так же и при освоении введенного нового оборудования.
P16	Правильно организовывать работу персонала по обслуживанию закрепленного оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать текущие ремонты и профилактические осмотры, составлять заявки на запасные части, оборудование, готовить документы необходимые для ремонта, принимать и осваивать вводимое оборудование.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт Энергетический  
 Направление подготовки 140100 Теплоэнергетика и теплотехника  
 Кафедра «Атомных и тепловых электростанций»

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой АТЭС ЭНИН  
 А.С. Матвеев

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)

\_\_\_\_\_  
 (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>ВКР бакалавра</b>
----------------------

Студенту:

Группа	ФИО
<b>3-5Б2АС1</b>	<b>ВЛАСОВОЙ А.С.</b>

Тема работы:

<b>СНИЖЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ЖИДКИМИ          ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОТХОДАМИ ТЭЦ КМК</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1816С/ 10.03.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	<b>10 июня 2016 года</b>
--	--------------------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Исходные данные: - технологическое оборудование ТЭЦ КМК; - данные научно-технической и учебной литературы, периодических изданий.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Введение. 2. Анализ основных характеристик Центральной ТЭЦ. 3. Источники сброса жидких технологических отходов. 4. Существующие методы уменьшения сброса жидких технологических отходов в окружающую среду. 5. Применение БРВ для снижения сточных вод и экономии реагентов. 6. Применение испарителей для очистки сточных технологических вод 7. Расчет установки БРВ. 8. Расчет испарителя.

	9. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 10. Социальная ответственность. 11. Заключение.
<b>Перечень графического материала</b>	Принципиальная схема установки, сборочный чертеж испарителя, презентация.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Финансовый менеджмент</b>	<b>Старший преподаватель, кафедры Менеджмента.</b>
<b>Социальная ответственность</b>	<b>Доцент кафедры Экологии и безопасности жизнедеятельности, к.т.н. Гусельников М.Э.</b>

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	<b>18 декабря 2015 года</b>
---	-----------------------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент кафедры АТЭС	Беляев Л.А.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Б2АС1	Власова А.С.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 66 с., 5 рис., 5 табл., 16 источников.

Ключевые слова: ТЭЦ КМК, испаритель, БРВ, сточные воды, вторичное использование регенерационного раствора.

Объектом исследования является: ТЭЦ КМК.

Цель работы: снизить загрязнения окружающей среды.

В процессе исследования проводились – анализ возможных методов анализ экономического эффекта, анализ вредных и опасных факторов производства.

В результате исследования – Необходимо снижение сточных вод.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: снижение сточных вод на.

Степень внедрения: Максимальная.

Область применения: Водоподготовка ТЭЦ КМК.

Экономическая эффективность/значимость работы: В результате расчетов был определен экономический эффект 3,63 миллиона рублей.

В будущем планируется: данный проект применить на практике.

## **Обозначения и сокращения**

ЭС — Электрическая станция;

ТЭС — Тепловая электрическая станция;

ГЗУ — Гидрошлакоудаление;

ТЭЦ КМК — Теплоэлектроцентраль станция Кузнецкого  
Металлургического Комбината;

ТАИ — цех теплового и автоматического измерения;

ОПРП — Отдел по работе с персоналом;

БРВ — Бак регенеративных вод;

ПСВ — Подогреватель сырой воды;

КУ2 — Ионообменная смола;

НИР — Научно исследовательская работа;

СИЗ — Средства индивидуальной защиты;

ЧС — Чрезвычайная ситуация;

АХОВ — Авария химически опасных выбросов.

## Оглавление

Введение.....	9
1. Анализ основных характеристик ТЭЦ КМК .....	11
1.1 Общие характеристики ТЭЦ КМК .....	11
1.2 Анализ химического цеха .....	11
2. Источники сброса жидких технологических отходов .....	13
3. Существующие методы уменьшения сброса жидких технологических отходов в окружающую среду.....	14
4. Применение БРВ для снижения сточных вод и экономии реагентов ...	17
5. Применение испарителей для очистки сточных технологических вод ...	18
6. Расчет установки БРВ .....	19
7. Расчет испарителя .....	20
7.1 Теплогидравлический расчет и конструирование испарителя .....	20
7.2 Механический расчет .....	35
7.3 Расчет тепловой изоляции .....	40
7.4 Расчет массы сухого испарителя .....	41
8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	46
8.1 Расчет затрат на проектирование и следование ВКР .....	46
8.2 Определение затрат на осуществление проекта .....	49
8.3 Оценка экономической эффективности .....	50
9. Социальная ответственность проекта.....	54
9.1 Производственная безопасность .....	54
9.2 Опасные факторы .....	58
9.3 Экологическая безопасность .....	60
9.4 Безопасность в ЧС .....	61
Заключение.....	63
Список используемых источников.....	64
Фюра311358.002.СК Спецификация принципиальной схемы для снижения сточных вод ТЭЦ КМК.....	65
Графическая часть. ФЮРА.311358.002.С2 Принципиальная схема для снижения количества сточных вод ТЭЦ КМК	
Графическая часть. ФЮРА.311358.003.СБ Испаритель И—290—1. Сборочный чертеж	

## Введение

Окружающая среда – основа жизнедеятельности человека, а добыча ресурсов и выработка из них энергии являются основой прогресса. Тем не менее современные ЭС наносят заметный вред окружающей среде, ухудшая вместе с этим жизнь людей.

В современной энергетике – применяются различные виды электростанций. На пике развития отечественной промышленности, более 70 лет назад, главной ставкой являлось - строительство крупных ТЭС. И в то время о воздействии ТЭС на окружающую среду думали мало, так как первостепенной задачей предполагалось получение тепла и электроэнергии.

Производство тепловой и электрической энергии на ТЭС тесно связана с огромным количеством отходов, сбрасываемых в окружающую среду. На сегодняшний день проблема воздействия энергетики на природу становится с каждым годом все острее, ввиду увеличения выбросов с каждым годом. Учитывая, что размеры энергопотребления безостановочно растут, то и естественно растет неблагоприятное влияние энергетики на природу. В период становления энергетики чаще всего руководствовались – экономическими затратами, в данный период времени всего больше уделяют внимания на экологию, при строительстве энергообъектов.

В настоящее время основными ресурсами в энергетике являются уголь-40%, газ 21% ,нефть 27%. По разным оценкам, этих ресурсов хватит на 270,50,70 лет, только при условии сохранения нынешнего темпа энергопотребления. При сжигании различных традиционных видов топлива на ТЭС, будут образовываться продукты сгорания, в которых содержатся следующие вещества: серный и сернистый ангидрид, летучая зола, частички несгоревшего топлива, оксид азота, соединения ванадия, кокса, соли натрия и т.д.

Также, ТЭС загрязняют водные бассейны, сбрасывая теплую воду, после чего водоемы зарастают водорослями. Нарушается кислородный баланс, то есть несет угрозу всем обитателям водного бассейна.

Ко всему прочему ТЭС с охлаждающей водой сбрасывают 4 -7 кДж /кг теплоты, на 1 кВт/ч электроэнергии. В соответствии с санитарными нормами, ТЭС не имеют права сбрасывать охлаждающую воду в зимний период не более чем на 5 °С, и в летний на 3°С выше чем в водоёме. Почва вблизи таких водохранилищ, нередко подтопляются, в связи с повышением уровня грунтовых вод, что приводит к заболачиванию не малых территорий.

Также загрязнение происходит от сточных вод. Такие воды станция сбрасывает после водоподготовительной установки, после поверхностей нагрева паровых котлов, а также после ГЗУ и др.

# 1 Анализ основных характеристик ТЭЦ КМК

## 1.1 Общие характеристики ТЭЦ КМК

Производит электрическую, и тепловую энергию. Первую для промышленной площадки – непосредственно для Новокузнецкого Metallургического Комбината, а вторую для жителей двух районов г.Новокузнецка.

Установленная электрическая мощность : 100 МВт.

Установленная тепловая мощность: 510 Гккал/час.

Основное топливо – природный газ.

Структура ТЭЦ КМК состоит из:

- химического цеха;
- котельного цеха;
- турбинного цеха;
- электрического цеха;
- цеха ТАИ;
- ОПП;
- и др. отделы.

## 1.2 Анализ химического цеха

Химический участок служит - для подготовки исходной воды, требуемого качества для подачи в паровые котлы и на подпитку теплосети, качаемой из р.Томи.

В состав цеха, входят 3 химводоочистки и 2 химлаборатории.

Химводоочистка №1 – служит для восполнения питательной воды, химводоочистка №2,3 – служит для восполнения потерь теплосети.

Сырая вода р.Томи поступает на химводоочистки, где происходит через механические фильтры (где проходит осветление и коагуляция воды) и катионитовые (где происходит умягчение воды) фильры, освобождается от солей жесткости и умягчается. На химводоочистки №2,3 производится подогрев и деаэрация химочищенной воды.

Процесс коагуляции заключается в укрупнении коллоидных частиц как органического, так и минерального происхождения. Удаление из сырой воды взвешенных примесей разной степени дисперсности осуществляется путем фильтрования ее через слой кварцевого песка механических фильтров.

## 2 Источники сброса жидких технологических отходов

Рассмотрим, вследствие каких операций, получаются жидкие технологические отходы.

Эксплуатация механических фильтров складывается из двух периодически повторяющихся операций: фильтрации и промывки. Скоагулировавшаяся масса механических примесей сырой воды химводоочисток №1,2 вместе с промывочными водами сбрасывается в промканализацию.

Умягчение воды осуществляется в процессе фильтрации через слой катионита, насыщенного ионами натрия. Катионит отдает переходящий в воду натрий, а взамен задерживает из нее кальций и магний. Регенерация катионита состоит в обработке его раствором поваренной соли 6-8 %. Для удаления продуктов регенерации фильтр промывают водой, которая сбрасывается в промканализацию.

Промывочные воды химводоочистки №3 в свое время отправлялись в две заглубленные емкости, диаметром 14 м., где вода отстаивалась и возвращалась в цикл. К сожалению, оборудование изношено на 100 % - эксплуатация не возможна. На данный момент промывочные воды, шлам от осветлителя сбрасываются в брызгальный бассейн.

Подведя итог анализа источника жидких технологических вод в химическом цехе, основными являются:

- шлам от водоподготовки;
- регенерационный раствор;
- промывочные воды.

### 3 Существующие методы уменьшения сброса жидких технологических отходов в окружающую среду

Для утилизации шламовых вод предочистки на ТЭС применяют шламоуплотнительные установки, где обезвоживается шлам, вода возвращается в водоподготовительный цикл. Обезвоженный шлам осветлителей, в дальнейшем используется при производстве извести, для раскисления почв и в строительстве.

Более сложной проблемой является сокращение и дальнейшая утилизация сточных вод ионообменной части водоподготовки. Так как увеличение минерализации сырой воды, влияет на рост расхода реагентов на регенерацию, и ко всему прочему увеличивает количество сточных вод и их минерализацию.

Поэтому разработано множество способов утилизации и обработки сточных регенерационных вод. Сточные регенерационные воды могут применяться в сельском хозяйстве в виде растворов (в виде удобрений). Использование мембранных установок для повышения концентрирования сточных вод и их регенерации разрешают получать кислоты и щелочи в исходных растворах. Так же есть вариант впрыска стоков в дымоходы котлов перед электрофильтрами, сброса стоков в топки паровых котлов, вывоза продуктов упаривания стоков в моря и океаны и др.

Также можно предложить многократное использование регенерационных сточных вод, введение более новых установок ионного обмена.

Одним из вариантов использования повторных регенерационных сточных вод Na-катионитных фильтров реализован на некоторых тепловых станциях. Принципиальная схема установки приведена на рис. 1. [1]

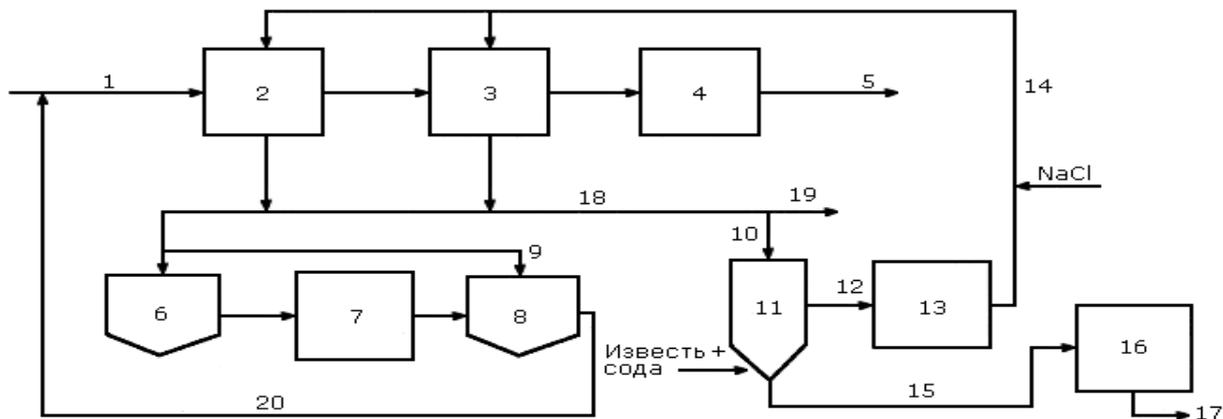


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки.[1]

Сырая вода *1* из циркуляционного водовода обрабатывается по схеме двухступенчатого Na-катионирования в фильтрах *2* и *3*, и после деаэрации в деаэраторе *4* деаэрированная вода *5* подается на подпитку закрытой теплосети. Воды для взрыхления и промывки Na-катионитных фильтров *2* и *3* собираются в баке *6*, освещаются в механическом фильтре *7* и направляются в бак *8*, в который собирается также маломинерализованная часть *9* отмывочных вод фильтров *2* и *3*.

Регенерационные сточные воды *10* фильтров *2* и *3* собираются в баке-кристаллизаторе *11*, с концентрацией солей более 3 кг/м, где обрабатывают известью в количестве, в 1,3 раза превышающем концентрацию магния в этих сточных водах, а затем содой. Доза соды должна обеспечивать осаждение основной части кальция, поступившего в бак *11* со сточными водами и введенного с известью.

Осветленный раствор *12* проходит через механический фильтр *13*, доукрепляется хлоридом натрия до концентрации 85–115 кг/м<sup>3</sup> и повторно используется для регенерации фильтров *2* и *3*. Осадок *15* из бака *11* подается на вакуум-фильтры или фильтры-прессы *16*. Не полностью обезвоженный осадок *17* вывозится ж/д и автотранспортом.

Количество регенерационного раствора *14* всегда меньше количества минерализованных сточных вод *18*, поэтому для баланса потоков, излишки этих вод сбрасываются в промышленную канализацию. Сточные воды из бака *8* используются для взрыхляющей промывки Na-катионитовых

фильтров 2 и 3, а их избыток 20 смешивается с исходной водой 1. Такая технология сокращает сброс регенеративных вод примерно на 60%.

На рис. 2 приведена схема выпарного аппарата мгновенного вскипания для получения дистиллята из засоленных стоков, использующего тепло регенеративного отбора или уходящих дымовых газов. Образовавшийся дистиллят в свою очередь возвращается в основной цикл.

Отечественный и мировой опыт показал, что утилизация минерализованных сточных вод в настоящее время может быть реально осуществлена только путем испарения в испарителях разной конструкции либо путем их естественного упаривания (в регионах с более благоприятным климатом) и выделения минеральных компонентов в твердом виде.

## 4 Применение БРВ для снижения сточных вод и экономии реагентов

Схема предусматривает 2 бака регенерационных вод (БРВ), принципиальная схема приведена ниже на рис.1

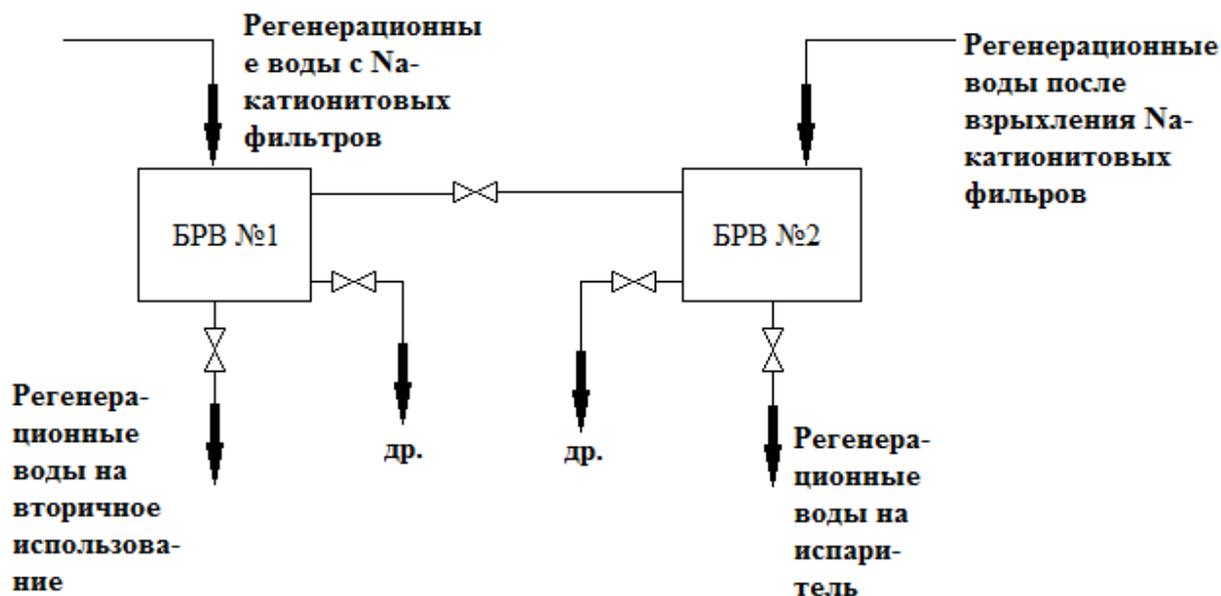


Рисунок 2 – принципиальная схема использования БРВ.

В данной схеме предусмотрено вторичное использование регенерационных вод, это приводит к уменьшению расхода NaCl примерно на 10-15 %. Также при использовании БРВ уменьшается расход воды на собственные нужды.

Регенерационные воды после Na-катионитовых фильтров собираем в БРВ №1. Позже, когда другой Na-катионитовый фильтр срабатывается (то есть заканчивается продолжительность его фильтроцикла), используем эти воды с БРВ №1 на взрыхление сработавшегося фильтра.

После использования на взрыхление Na-катионитового фильтра, воды поступают в БРВ №2 для последующего использования в испарителе.

## 5 Применение испарителей для очистки сточных технологических вод

Термическую очистку регенерационных сточных вод все чаще производят в испарительных установках. Принципиальная схема одноступенчатого испарителя приведена ниже на рисунке №2. Сама установка состоит из испарителя и его вспомогательного оборудования. Вода поступает в испаритель поверхностного типа, где проходит ее испарение, а также образуется вторичный пар за счет теплоты первичного греющего пара. Вторичный пар поступает на ПСВ, для подогрева химочищенной воды.

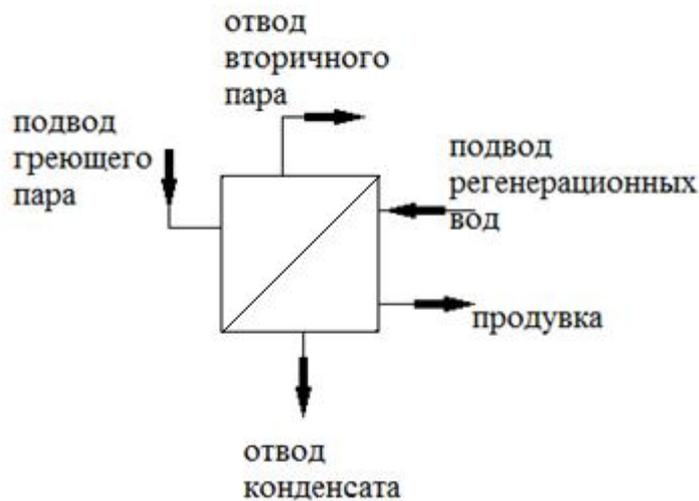


Рисунок 3 – Принципиальная схема включения испарителя, для очищения регенерационных вод.

При данной схеме качество получаемой воды (дистиллят) практически не содержит солей.

Содержащиеся в регенерационных водах соли концентрируются в испарителе, и в дальнейшем удаляются продувкой ( в промканализацию).

## 6 Расчет установки БРВ

Для взрыхляющей промывки Na — катионитных фильтров используется БРВ №1. [2]

6.1.1 Установим промывочный бак объемом, который рассчитывается по формуле:

$$V_6 = 1,3 \cdot Q_{отм}, \quad (1)$$

где  $Q_{отм}$  — удельный расход отмывочной воды, загруженный катионитом КУ —2, принимается  $6 \text{ м}^3 / \text{ч}$ ; [3]

$$V_6 = 1,3 \cdot 6 = 7,8 \text{ м}^3. \quad (2)$$

Принимаем к установке два бака  $V=8 \text{ м}^3$ ,  $D_y = 2000 \text{ мм}$ ,  $H = 2,5 \text{ м}$ .

Также в установке должен быть установлен насос для откачки регенерационных вод с БРВ №2 после взрыхляющей промывки Na — катионитовых фильтров.

6.1.2 Его рабочие характеристики должны обеспечить взрыхляющую промывку, часовой расход воды определяется по формуле:

$$Q_{взр} = \frac{i \cdot f_{Na} \cdot 60 \cdot t_{взр}}{1000}, \quad (3)$$

где  $i$  — интенсивность взрыхляющей промывки, принимается согласно установленным фильтрам,  $\text{л} / (\text{с} \cdot \text{м}^2)$ ;

$f_{Na}$  — площадь фильтрования, принимается согласно установленным на предприятии Na — катионитовым фильтрам;

$t_{взр}$  — продолжительность взрыхления Na — катионитовых фильтров,

мин.

$$Q_{взр} = \frac{4 \cdot 5,3 \cdot 60 \cdot 30}{1000} = 40 \text{ м}^3 / \text{ч}. \quad (4)$$

Принимаем к установке два промывочных насоса типа 2К 45/30,  $Q=45 \text{ м}^3 / \text{ч}$ ,  $H=32 \text{ м}$ . вод.ст.

## 7 Расчет испарителя

Расчет ведем по методике, изложенной в [4].

### 7.1 Теплогидравлический расчет и конструирование испарителя

Схема расположения основных зон теплообмена испарителя представлена на рисунке 3 .

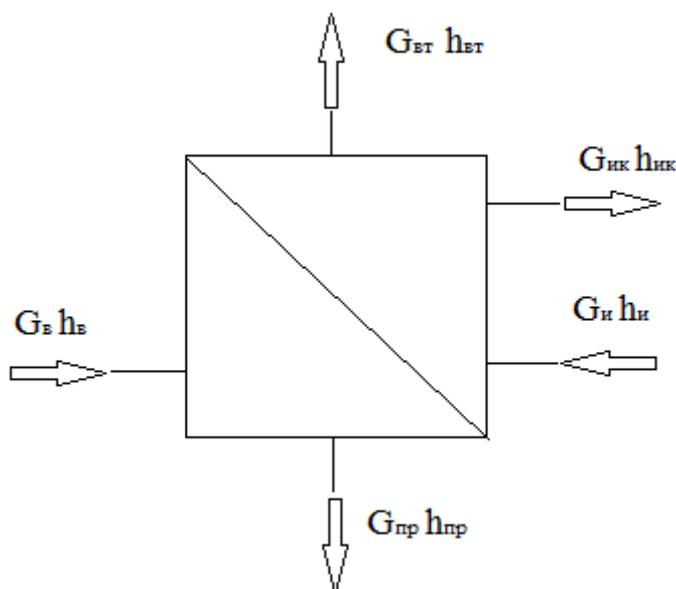


Рисунок 4– Расчетная схема.

Условные обозначения:  $G_{вт}$  – расход вторичного пара;  $h_{вт}$  – энтальпия вторичного пара;  $G_e$  – расход добавочной воды;  $h_e$  – энтальпия добавочной воды;  $G_{пр}$  – расход продувочной воды;  $h_{пр}$  – энтальпия продувочной воды;  $h_{ик}$  – энтальпия конденсата греющего пара;  $G_{ик}$  – расход основного конденсата.

#### 7.1.1 Давление первичного пара:

$$P_1 = f(t_1) = 0,476 \text{ МПа.}^1$$

#### 7.1.2 Температура насыщения вторичного пара:

$$t_2 = f(P_2) = 127,41 \text{ }^\circ\text{C}.$$

#### 7.1.3 Энтальпии вторичного пара и воды на линии насыщения:

$$h'_2 = f(P_2) = 535,4 \text{ кДж/кг};$$

$$h''_2 = f(P_2) = 2716,5 \text{ кДж/кг}.$$

#### 7.1.4 Плотность вторичного пара и воды на линии насыщения:

<sup>1</sup> Здесь и далее для определения параметров воды и пара используется программа ENEKcalc

$$\rho_2' = f(P_2) = 937 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_2'' = f(P_2) = 1,39 \text{ кг/м}^3.$$

7.1.5 Коэффициент продувки испарителя:

$$P = \left( \frac{C_{\text{дв}}}{C_{\text{к}} - C_{\text{дв}}} \right) \cdot 100, \quad (5)$$

где  $C_{\text{дв}}$  – содержание солей в добавочной воде,  $\text{мг/кг}$ ;

$C_{\text{к}}$  – содержание солей в концентрате,  $\text{мг/кг}$ ,

$$P = \left( \frac{3}{2600 - 3} \right) \cdot 100 = 0,12\%.$$

7.1.6 Расход продувки испарителя:

$$G_{\text{пи}} = P \cdot G_{\text{дв}}, \quad (6)$$

$$G_{\text{пи}} = 0,0012 \cdot 3,5 = 0,0042 \text{ кг/с}.$$

7.1.7 Энтальпия добавочной воды по:

$$h_{\text{дв}}' = f(t_{\text{дв}}) = 146,6 \text{ кДж/кг}.$$

7.1.8 Тепловой поток испарителя:

$$Q_u = G_{\text{дв}} \cdot (h_2'' - h_{\text{дв}}') + G_{\text{пи}} \cdot (h_2' - h_{\text{дв}}'), \quad (7)$$

$$Q_u = 3,5 \cdot (2716,5 - 146,6) + 0,0042 \cdot (535,4 - 146,6) = 9319 \text{ кВт}.$$

7.1.9 Коэффициент теплопередачи предварительно принимаем по рекомендациям  $k_u = 2,34 \text{ кВт/м}^2$ .

7.1.10 Поверхность теплообмена испарителя:

$$F_u = \frac{Q_u}{(k_u \cdot \Delta t_u)}, \quad (8)$$

$$F_u = \frac{9319}{(2,34 \cdot 13)} = 296,1 \text{ м}^2.$$

7.1.11 Внутренний диаметр трубок греющей секции:

$$d_{\text{вн}} = d_{\text{н}} - 2 \cdot S, \quad (9)$$

$$d_{\text{вн}} = 38 - 2 \cdot 2,5 = 33 \text{ мм}.$$

7.1.12 Средний диаметр трубок греющей секции:

$$d_{\text{ср}} = \frac{d_{\text{н}} + d_{\text{вн}}}{2}, \quad (10)$$

$$d_{\text{ср}} = \frac{38 + 33}{2} = 36 \text{ мм}.$$

7.1.13 Высота греющей секции:

$$H_{zc} = \frac{F_u}{\pi \cdot d_{cp} \cdot N}, \quad (11)$$

где  $N$  – количество труб греющей секции[5].

$$H_{zc} = \frac{296,1}{\pi \cdot 0,036 \cdot 1736} = 1,53 \text{ м.}$$

7.1.14 Определение скорости циркуляции.

Задаем скорость циркуляции по рекомендациям [4]:  $\omega_0 = 0,7$  м/с.

7.1.14.1 Площадь сечения кольцевой щели за вычетом площади сечения труб:

$$F_{щ} = \frac{\pi \cdot [(d_k^2 - d_{zc}^2) - N_{on} \cdot d_{on}^2]}{4}, \quad (12)$$

где  $N_{on}, d_{on}$  - число и диаметр опускных труб, который принимаем  $d_{on} = 76$  мм;

$$F_{щ} = \frac{\pi \cdot [(2,804^2 - 2,4^2) - 12 \cdot 0,076^2]}{4} = 1,6 \text{ м}^2.$$

7.1.14.2 Площадь проходного сечения труб греющей секции:

$$F_{тр} = \frac{N \cdot \pi \cdot d_{вн}^2}{4}, \quad (13)$$

$$F_{тр} = \frac{1736 \cdot \pi \cdot 0,033^2}{4} = 1,485 \text{ м}^2.$$

7.1.14.3 Скорость воды в щели:

$$\omega_{0щ} = \frac{\omega_0 \cdot F_{тр}}{F_{щ}}, \quad (14)$$

$$\omega_{0щ} = \frac{0,71 \cdot 1,485}{1,6} = 0,65.$$

7.1.14.4 Потери давления на входе в кольцевую щель и выходе из неё:

$$\Delta P_{щ.вх.вых} = \frac{(\xi_{вх} + \xi_{вых}) \cdot \rho_2' \cdot \omega_{0щ}^2}{2}, \quad (15)$$

где  $\xi_{вх}$  и  $\xi_{вых}$  – коэффициенты местных сопротивлений входа в кольцевую щель и выхода из нее;

$$\Delta P_{\text{щ.вх.вых}} = \frac{(0,5 + 1) \cdot 937 \cdot 0,65^2}{2} = 297,7 \text{ Па.}$$

7.1.14.5 Смоченный периметр щели:

$$U_{\text{щ}} = \pi \cdot (d_{\text{к}} + d_{\text{гс}} + N_{\text{оп}} \cdot d_{\text{оп}}), \quad (17)$$

$$U_{\text{щ}} = \pi \cdot (2,804 + 2,4 + 12 \cdot 0,076) = 19,21 \text{ м.}$$

7.1.14.6 Эквивалентный диаметр кольцевой щели:

$$d_{\text{экв.щ}} = \frac{4 \cdot F_{\text{щ}}}{U_{\text{щ}}}, \quad (18)$$

$$d_{\text{экв.щ}} = \frac{4 \cdot 1,6}{19,21} = 0,332 \text{ м.}$$

7.1.14.7 Коэффициент трения сопротивления в щели:

$$\lambda_{\text{щ}} = \frac{1}{\left[1,14 + 2 \cdot \lg \left(\frac{d_{\text{экв.щ}}}{K_3}\right)\right]^2}, \quad (19)$$

где  $K_3$  - абсолютная шероховатость стенок щели, принимаем согласно;

$$\lambda_{\text{щ}} = \frac{1}{\left[1,14 + 2 \cdot \lg \left(\frac{0,332}{0,06 \cdot 10^{-3}}\right)\right]^2} = 0,013.$$

7.1.14.8 Коэффициент трения сопротивления в трубах:

$$\lambda_{\text{тр}} = \frac{1}{\left[1,14 + 2 \cdot \lg \left(\frac{d_{\text{вн}}}{K_3}\right)\right]^2}, \quad (20)$$

$$\lambda_{\text{тр}} = \frac{1}{\left[1,14 + 2 \cdot \lg \left(\frac{0,033}{0,06}\right)\right]^2} = 0,023.$$

7.1.14.9 Потери давления от трения в щели:

$$\Delta P_{\text{щ.тр}} = \lambda_{\text{щ}} \cdot \frac{H_{\text{зс}}}{d_{\text{экв.щ}}} \cdot \frac{\rho_2' \cdot \omega_{\text{дщ}}^2}{2}, \quad (21)$$

$$\Delta P_{\text{щ.тр}} = 0,013 \cdot \frac{1,53}{0,332} \cdot \frac{937 \cdot 0,65^2}{2} = 12,27 \text{ Па.}$$

7.1.14.10 Потери давления при движении воды в кольцевой щели:

$$\Delta P_{\text{щ}} = \Delta P_{\text{щ.вх.вых}} + \Delta P_{\text{щ.тр}}, \quad (22)$$

$$\Delta P_{\text{из}} = 297,7 + 12,27 = 310 \text{ Па.}$$

7.1.14.11 Потери давления на входе в трубы греющей секции:

$$\Delta P_{\text{тр.вх}} = \xi_{\text{вх}} \cdot \frac{\rho_2' \cdot \omega_{0\text{из}}^2}{2}, \quad (23)$$

где  $\xi_{\text{вх}}$  — коэффициент местного сопротивления на входе в трубы;

$$\Delta P_{\text{тр.вх}} = 0,5 \cdot \frac{937 \cdot 0,65^2}{2} = 114,8 \text{ Па.}$$

7.1.14.12 Потери давления при движении воды на необогреваемом участке:

$$\Delta P_{\text{но}} = \lambda_{\text{тр}} \cdot \frac{H_{\text{но}}}{d_{\text{вн}}} \cdot \frac{\rho_2' \cdot \omega_0^2}{2}, \quad (24)$$

где  $H_{\text{но}}$  - высота необогреваемого участка труб, принимаем согласно;

$$\Delta P_{\text{но}} = 0,023 \cdot \frac{0,2}{0,033} \cdot \frac{937 \cdot 0,7^2}{2} = 31,7 \text{ Па.}$$

7.1.14.13 Первоначально принимаем [1] высоту между точкой закипания воды в трубе и границей необогреваемого участка – высоту экономайзерного участка  $H'_{\text{ЭК}} = 0,58 \text{ м}$ .

7.1.14.14 Потери давления от трения на экономайзерном участке:

$$\Delta P_{\text{ЭК}} = \lambda_{\text{тр}} \cdot \frac{H_{\text{ЭК}}}{d_{\text{вн}}} \cdot \frac{\rho_2' \cdot \omega_0^2}{2}, \quad (25)$$

$$\Delta P_{\text{ЭК}} = 0,023 \cdot \frac{0,58}{0,033} \cdot \frac{937 \cdot 0,7^2}{2} = 92 \text{ Па.}$$

7.1.14.15 Общее количество теплоты, передаваемой в щели воде с боковой поверхности греющей секции:

$$Q_{\text{щ}} = \pi \cdot d_{\text{зс}} \cdot H_{\text{зс}} \cdot k_u \cdot \Delta t_u, \quad (26)$$

$$Q_{\text{щ}} = \pi \cdot 2,4 \cdot 1,53 \cdot 2,34 \cdot 13 = 350,8 \text{ кВт.}$$

7.1.14.16 Изменение энтальпии воды в щели:

$$\Delta h_{\text{щ}} = \frac{Q_{\text{щ}}}{F_{\text{тр}} \cdot \rho_2' \cdot \omega_0}, \quad (27)$$

$$\Delta h_{\text{щ}} = \frac{350,8}{1,485 \cdot 937 \cdot 0,7} = 0,36 \text{ кДж/кг.}$$

7.1.14.17 Приближенное вычисление производной  $\left(\frac{dh'}{dP}\right)$  [1]:

$$\frac{dh'}{dP} = \left(\frac{97,49}{P_2} - 228,9 \cdot P_2 + 230,9\right) = 5,64 \cdot 10^{-4} \frac{(\text{кДж} \cdot \text{м}^2)}{\text{кг} \cdot \text{Н}}.$$

7.1.14.18 . Действительная высота экономайзерного участка:

$$H_{\text{ЭК}} = \frac{g \cdot \rho_2' \cdot (H_{\text{ГС}} - H_{\text{НО}}) \cdot \frac{dh'}{dP} - (\Delta P_{\text{Ш}} + \Delta P_{\text{ТР.ВХ}} + \Delta P_{\text{НО}} + \Delta P_{\text{ЭК}}) \cdot \frac{dh'}{dP} - \Delta h_{\text{Ш}}}{\frac{4 \cdot k_{\text{И}} \cdot \Delta t_{\text{И}}}{\rho_2' \cdot \omega_0 \cdot d_{\text{ВН}}} + g \cdot \rho_2' \cdot \frac{dh'}{dP}}, \quad (28)$$

где  $g$  – скорость свободного падения;

$$H_{\text{ЭК}} = \frac{9,81 \cdot 937 \cdot (1,53 - 0,2) \cdot 5,64 \cdot 10^{-4}}{\frac{4 \cdot 2,34 \cdot 13}{937 \cdot 0,7 \cdot 0,033} + 9,81 \cdot 937 \cdot 5,64 \cdot 10^{-4}} - \frac{(310 + 114,8 + 31,7 + 92) \cdot 5,64 \cdot 10^{-4} - 0,36}{\frac{4 \cdot 2,3 \cdot 13}{937 \cdot 0,71 \cdot 0,033} + 9,81 \cdot 937 \cdot 5,64 \cdot 10^{-4}} = 0,576 \text{ м.}$$

7.1.14.19 Относительная погрешность расчета высоты экономайзерного участка:

$$\delta H_{\text{ЭК}} = \frac{|H_{\text{ЭК}} - H'_{\text{ЭК}}|}{H_{\text{ЭК}}} \cdot 100 \quad (29)$$

$$\delta H_{\text{ЭК}} = \frac{|0,576 - 0,58|}{0,576} \cdot 100 = 0,75$$

7.1.14.20 Высота участка парообразования:

$$H_{\text{ПО}} = H_{\text{ГС}} - H_{\text{НО}} - H_{\text{ЭК}}, \quad (30)$$

$$H_{\text{ПО}} = 1,556 - 0,2 - 0,583 = 0,747 \text{ м.}$$

7.1.14.21 Приведенная скорость пара на выходе из труб:

$$\omega_{\text{ОП}} = \frac{D_2}{\rho_2'' \cdot F_{\text{ТР}}}, \quad (31)$$

$$\omega_{\text{ОП}} = \frac{3,5}{1,39 \cdot 1,485} = 1,7 \text{ м/с.}$$

7.1.14.22 Средняя приведенная скорость пара:

$$\omega_{\text{ОП.СР}} = \frac{\omega_{\text{ОП}}}{2}, \quad (32)$$

$$\omega_{\text{ОП.СР}} = \frac{1,7}{2} = 0,85 \text{ м/с.}$$

7.1.14.23 Скорость пароводяной смеси на участке парообразования:

$$\omega_{см} = \omega_{0н.ср} + \omega_0, \quad (33)$$

$$\omega_{см} = 0,85 + 0,7 = 1,55 \text{ м/с.}$$

7.1.14.24 Массовое расчетное паросодержание в трубке:

$$\beta_{расч} = \frac{\omega_{0н.ср}}{\omega_{см}}, \quad (34)$$

$$\beta_{расч} = \frac{0,85}{1,55} = 0,5.$$

7.1.14.25 Фактор взаимодействия пузырей при всплывании:

$$\psi_{вз} = 1,4 \cdot \left( \frac{\rho_2'}{\rho_2''} \right)^{1/5} \cdot \left( 1 - \frac{\rho_2''}{\rho_2'} \right)^5, \quad (35)$$

$$\psi_{вз} = 1,4 \cdot \left( \frac{937}{1,39} \right)^{1/5} \cdot \left( 1 - \frac{1,39}{937} \right)^5 = 5,112.$$

7.1.14.26 Коэффициент свободного натяжения при давлении  $P_2$  [6]:

$$\sigma_2 = f(P_2) = 5,35 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м.}$$

7.1.14.27 Скорость всплывания одиночного пузыря в жидкости:

$$\omega_{пуз} = 1,5 \cdot \sqrt[4]{g \cdot \sigma_2 \cdot \frac{\rho_2' - \rho_2''}{\rho_2'^2}}, \quad (36)$$

$$\omega_{пуз} = 1,5 \cdot \sqrt[4]{9,81 \cdot 5,35 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{937 - 1,39}{937^2}} = 0,231 \text{ м/с.}$$

7.1.14.28 Групповая скорость всплывания пузырей:

$$\omega^* = \psi_{вз} \cdot \omega_{пуз}, \quad (37)$$

$$\omega^* = 5,112 \cdot 0,231 = 1,18 \text{ м/с.}$$

7.1.14.29 Объемное расчетное паросодержание в трубке:

$$\varphi_{расч} = \frac{\beta_{расч}}{1 + \frac{\omega^*}{\omega_{см}}}, \quad (38)$$

$$\varphi_{расч} = \frac{0,55}{1 + \frac{1,18}{1,55}} = 0,31.$$

7.1.14.30 Потери давления от трения на участке парообразования:

$$\Delta P_{no} = \lambda_{тр} \cdot \frac{H_{no}}{d_{ен}} \cdot \frac{\rho_2' \cdot \omega_0^2}{2} \cdot \left[ 1 + 1,5 \cdot \frac{\omega_{0н.ср}}{\omega_0} \cdot \left( 1 - \frac{\rho_2''}{\rho_2'} \right) \right], \quad (38)$$

$$\Delta P_{no} = 0,013 \cdot \frac{0,747}{0,033} \cdot \frac{937 \cdot 0,7^2}{2} \cdot \left[ 1 + 1,5 \cdot \frac{0,85}{0,7} \cdot \left( 1 - \frac{1,39}{937} \right) \right] = 336,5 \text{ Па.}$$

7.1.14.31 Потери давления от трения на выходе из трубок:

$$\Delta P_{тр.вых} = \xi_{вых} \cdot \frac{\rho_2' \cdot \omega_0^2}{2} \cdot \left[ 1 + \frac{\omega_{0п}}{\omega_0} \cdot \left( 1 - \frac{\rho_2''}{\rho_2'} \right) \right], \quad (39)$$

где  $\xi_{вых}$  – коэффициент местного сопротивления выхода потока из труб;

$$\Delta P_{тр.вых} = 1,2 \cdot \frac{937 \cdot 0,7^2}{2} \cdot \left[ 1 + \frac{1,7}{0,7} \cdot \left( 1 - \frac{1,39}{937} \right) \right] = 941,2 \text{ Па.}$$

7.1.14.32 Комплексы, определяющие влагосодержание в точке закипания и в точке на выходе из труб [1]:

$$y = \frac{x^2}{\rho_2'' \cdot \varphi} + \frac{(1-x)^2}{\rho_2' \cdot (1-\varphi)}, \quad (40)$$

где  $x$  – массовое паросодержание;

В точке закипания  $x_1 = 0$ .

7.1.14.33 В сечении на выходе из труб:

$$x_2 = \frac{\rho_2'' \cdot \omega_{0н}}{\rho_2' \cdot \omega_0}, \quad (41)$$

$$x_2 = \frac{1,39 \cdot 1,7}{937 \cdot 0,7} = 0,004.$$

7.1.14.34 Объемное паросодержание:

В точке закипания:  $\varphi_1 = 0$ ;

В сечении на выходе из труб:

$$\varphi_2 = \frac{\beta_2}{1 + \frac{\omega^*}{\omega_{см}}}, \quad (42)$$

где  $\beta_2$  – массовое паросодержание;

$$\beta_2 = \frac{\omega_{0н}}{\omega_{см}}; \quad (43)$$

$$\beta_2 = \frac{1,7}{1,55} = 0,708.$$

$$\varphi_2 = \frac{0,708}{1 + \frac{1,18}{1,55}} = 0,402.$$

Тогда  $y$  в точке закипания:

$$y_1 = \frac{1}{\rho_2}; \quad (44)$$

$$y_1 = \frac{1}{937} = 0,001.$$

В сечении на выходе из труб:

$$y_2 = \frac{x_2^2}{\rho_2'' \cdot \varphi_2} + \frac{(1 - x_2)^2}{\rho_2' \cdot (1 - \varphi_2)} = \frac{0,004^2}{1,39 \cdot 0,401} + \frac{(1 - 0,004)^2}{937 \cdot (1 - 0,401)} = 0,0018.$$

7.1.14.35 Потери давления на ускорение потока:

$$\Delta P_{\text{уск}} = (\rho_2' \cdot \omega_0)^2 \cdot (y_2 - y_1), \quad (42)$$

$$\Delta P_{\text{уск}} = (937 \cdot 0,7)^2 \cdot (0,0018 - 0,001) = 312,6 \text{ Па}.$$

7.1.14.36 Движущий напор на участке парообразования:

$$\Delta P_{\text{дв}} = g \cdot H_{\text{но}} \cdot (\rho_2' - \rho_2'') \cdot \varphi_{\text{расч}}, \quad (43)$$

$$\Delta P_{\text{дв}} = 9,81 \cdot 0,747 \cdot (937 - 1,39) \cdot 0,31 = 2150,1 \text{ Па}.$$

7.1.14.37 Суммарные потери в контуре циркуляции:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{ц}} + \Delta P_{\text{тр.вх}} + \Delta P_{\text{но}} + \Delta P_{\text{эк}} + \Delta P_{\text{но}} + \Delta P_{\text{тр.вых}} + \Delta P_{\text{уск}}, \quad (45)$$

$$\Delta P_{\Sigma} = 310 + 114,8 + 31,7 + 92 + 336,5 + 941,2 + 312,6 = 2138,8 \text{ Па}.$$

7.1.14.38 Относительная погрешность расчета потерь давления:

$$\delta P = \frac{|\Delta P_{\Sigma} - \Delta P_{\text{дв}}|}{\Delta P_{\text{дв}}} \cdot 100, \quad (46)$$

$$\delta P = \frac{|2138,8 - 2150,1|}{2150,1} \cdot 100 = 0,5\%.$$

7.1.15 Удельный тепловой поток:

$$q_u = k_u \cdot \Delta t_u, \quad (47)$$

$$q_u = 2,34 \cdot 13 = 30,42 \text{ кВт/м}^2.$$

7.1.16 Изобарная теплоемкость воды при температуре насыщения вторичного пара [3]:

$$c'_{p2} = f(t_2) = 4,26 \text{ кДж/кг}.$$

7.1.17 Удельная теплота парообразования при температуре насыщения вторичного пара [3]:

$$r_2 = f(t_2) = 2181,2 \text{ кДж/кг.}$$

7.1.18 Температура насыщения вторичного пара:

$$T_2 = t_2 + 273,15 = 127,41 + 273,15 = 400,56 \text{ К.}$$

7.1.19 Комплекс Стермана [1]:

$$St = \frac{q_u}{r_2 \cdot \rho_2'' \cdot \omega_0} \cdot \left(\frac{\rho_2''}{\rho_2'}\right)^{1,45} \cdot \left(\frac{r_2}{c_{p2}' \cdot T_2}\right)^{0,33}, \quad (48)$$

$$St = \frac{30,42}{2181,2 \cdot 1,39 \cdot 0,7} \cdot \left(\frac{1,39}{937}\right)^{1,45} \cdot \left(\frac{2181,2}{4,26 \cdot 400,56}\right)^{0,33} = 1,23 \cdot 10^{-6}.$$

7.1.20 Динамическая вязкость конденсата вторичного пара [6]:

$$\mu_2' = f(t_2) = 2,18 \cdot 10^{-4} \text{ (Па} \cdot \text{с)}.$$

7.1.21 Кинематическая вязкость конденсата вторичного пара [6]:

$$\nu_2' = f(t_2) = 2,32 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}.$$

7.1.22 Число Прандтля для конденсата вторичного пара [6]:

$$Pr_2' = f(t_2) = 1,3537.$$

7.1.23 Число Рейнольдса для вторичного пара :

$$Re_2 = \frac{\omega_0 \cdot d_{вн}}{\nu_2'}, \quad (49)$$

$$Re_2 = \frac{0,7 \cdot 0,033}{2,32 \cdot 10^{-7}} = 9,95 \cdot 10^4.$$

7.1.24 Число Нуссельта для вторичного пара. Так как  $St < 0,4 \cdot 10^{-5}$ , то число Нуссельта определяется как :

$$Nu_2 = 0,023 \cdot Re_2^{0,8} \cdot (Pr_2')^{0,37}, \quad (50)$$

$$Nu_2 = 0,023 \cdot (1,009 \cdot 10^5)^{0,8} \cdot 1,3537^{0,37} = 256,2.$$

7.1.25 Коэффициент теплопроводности кипящей воды при давлении  $P_2$  [3]:

$$\lambda_2' = f(P_2) = 0,6846 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

7.1.26 Коэффициент теплоотдачи со стороны тепловоспринимающей среды – вторичного пара – для чистой поверхности испарителя:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda'_2}{d_{\text{вн}}}, \quad (51)$$

$$\alpha_2 = \frac{259,15 \cdot 0,6846}{0,033} = 5315,5 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}.$$

7.1.27 Коэффициент теплоотдачи со стороны тепловоспринимающей среды с учетом загрязнений:

$$\bar{\alpha}_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + R_{\text{окс}}}, \quad (52)$$

где  $R_{\text{окс}}$  – термическое сопротивление оксидной плёнки;

$$\bar{\alpha}_2 = \frac{1}{\frac{1}{5315,5} + 1 \cdot 10^{-4}} = 3470,7 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}.$$

7.1.28 Число перегородок в греющей секции [5]:

$$n = 1.$$

7.1.29 Активная высота труб греющей секции:

$$H_a = \frac{H_{2c}}{n}, \quad (53)$$

$$H_a = \frac{1,53}{1} = 1,53 \text{ м.}$$

7.30 Динамическая вязкость конденсата первичного пара [6]:

$$\mu'_1 = f(t_1) = 1,83 \cdot 10^{-4} \text{ (Па} \cdot \text{с)}.$$

7.1.31 Кинематическая вязкость конденсата первичного пара [6]:

$$\nu'_1 = f(t_1) = 1,99 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}.$$

7.1.32 Удельная теплота парообразования при температуре насыщения первичного пара по [6]:

$$r_1 = f(t_1) = 2113,7 \text{ кДж/кг}.$$

7.1.33 Число Прандтля для конденсата первичного пара [6]:

$$Pr'_1 = f(t_1) = 1,15.$$

7.1.34 Число Рейнольдса для пленки конденсата первичного пара [4]:

$$Re_1 = \frac{q_u \cdot H_a}{r_1 \cdot \mu'_1}, \quad (54)$$

$$Re_1 = \frac{30,42 \cdot 1,53}{2113,7 \cdot 1,83 \cdot 10^{-4}} = 120,7.$$

7.1.35 Коэффициент теплопроводности кипящей воды при давлении  $P_1$  [6]:

$$\lambda'_1 = f(P_1) = 0,683 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}.$$

7.1.36 Коэффициент теплоотдачи со стороны теплоотдающей среды – первичного пара – для чистой поверхности испарителя. Так как  $Re_1 > 100$ , то возникает смешанный режим течения пленки конденсата, поэтому коэффициент теплоотдачи определим как:

$$\alpha_1 = \lambda'_1 \cdot \left( \frac{q_u}{(v'_1)^2} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{0,16 \cdot (Pr'_1)^{\frac{1}{3}} \cdot Re_1}{Re_1 - 100 + 63,2 \cdot (Pr'_1)^{\frac{1}{3}}}, \quad (55)$$

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 0,6839 \cdot \left( \frac{30,42}{(1,99 \cdot 10^{-7})^2} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{0,16 \cdot (1,15)^{\frac{1}{3}} \cdot 120,7}{120,7 - 100 + 63,2 \cdot (1,15)^{\frac{1}{3}}} = \\ &= 14584 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}. \end{aligned}$$

7.1.37 Коэффициент теплоотдачи со стороны теплоотдающей среды с учетом загрязнений:

$$\bar{\alpha}_1 = 0,75 \cdot \alpha_1, \quad (56)$$

$$\bar{\alpha}_1 = 0,75 \cdot 14584 = 10938 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}.$$

7.1.38 Коэффициент теплопроводности металла трубок для углеродистой стали марки сталь 20 [7]:

$$\lambda_{mp} = 50,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

7.1.39 Действительный коэффициент теплопередачи:

$$k_u^\delta = \frac{1}{\frac{1}{\bar{\alpha}_1} + \frac{S}{\lambda_{mp}} + \frac{1}{\bar{\alpha}_2}}, \quad (57)$$

$$k_u^\delta = \frac{1}{\frac{1}{10938} + \frac{0,0025}{50,7} + \frac{1}{3496,4}} = 2,332 \frac{\text{кВт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}.$$

7.1.40 Относительная погрешность расчета коэффициента теплопередачи:

$$\delta k_u = \frac{|k_u^\partial - k_u|}{k_u^\partial} \cdot 100, \quad (58)$$

$$\delta k_u = \frac{|2,332 - 2,34|}{2,332} \cdot 100 = 0,35\%.$$

7.1.41 Расчет устройств очистки пара от солей

7.1.41.1 Скорость движения пара в паровом объеме корпуса испарителя:

$$\omega_{no} = \frac{4 \cdot D_2}{\rho_2'' \cdot \pi \cdot d_k^2}, \quad (59)$$

$$\omega_{no} = \frac{4 \cdot 3,5}{1,39 \cdot \pi \cdot 2,804^2} = 0,41 \text{ м/с.}$$

Для устойчивого режима работы испарителя должно выполняться условие  $\omega_{no} < \omega_{no}^{kp}$ .

7.1.41.2 Критическая скорость движения пара в паровом объеме:

$$\omega_{no}^{kp} = 1,256 \cdot 10^9 \cdot \left( \frac{h}{\sqrt{\frac{\sigma_2}{g \cdot (\rho_2' - \rho_2'')}}}} \right)^{0,24} \cdot \left( \frac{(\mu_2')^2 \cdot \sqrt{g \cdot (\rho_2' - \rho_2'')}}{\sigma_2^{3/2} \cdot \rho_2'} \right)^{1,66} \cdot \frac{\sqrt{g \cdot \sigma_2 \cdot (\rho_2' - \rho_2'')}}{\rho_2''}, \quad (60)$$

где  $h$  – высота слоя воды над листом, принимаем с прототипа;

$$\omega_{no}^{kp} = 1,256 \cdot 10^9 \cdot \left( \frac{0,08}{\sqrt{\frac{0,0535}{9,81 \cdot (937 - 1,39)}}}} \right)^{0,24} \times$$

$$\times \left( \frac{(2,18 \cdot 10^{-4})^2 \cdot \sqrt{9,81 \cdot (937 - 1,39)}}{(0,0535)^{3/2} \cdot 937} \right)^{1,66} \cdot \frac{\sqrt{9,81 \cdot 0,0535 \cdot (937 - 1,39)}}{937} =$$

$$= 1,07 \text{ м/с.}$$

Условие  $\omega_{no} < \omega_{no}^{kp}$  выполняется.

7.1.41.3 Минимальная скорость пара в отверстиях паропромывочных листов:

$$\omega_{min} = 1,41 \cdot d_{омс}^{2/9} \cdot h^{1/9} \sqrt{\frac{g}{\rho_2''}} \cdot \sqrt[4]{\sigma_2 \cdot (\rho_2' - \rho_2'') \cdot g} \cdot \left(\frac{\rho_2' - \rho_2''}{\sigma_2 \cdot g}\right)^{1/6}, \quad (61)$$

где  $d_{омс}$  – диаметр отверстий в паропромывочных листах, принимаем согласно[8]:

$$\begin{aligned} \omega_{min} &= 1,41 \cdot 0,006^{2/9} \cdot 0,08^{1/9} \sqrt{\frac{9,81}{1,39}} \cdot \sqrt[4]{0,0535 \cdot (937 - 1,39) \cdot 9,81} \times \\ &\quad \times \left(\frac{937 - 1,39}{0,0535 \cdot 9,81}\right)^{1/6} = 14,9 \text{ м/с.} \end{aligned}$$

7.1.41.4 Скорость пара в отверстиях паропромывочных листов:

$$\omega_{омс} = 1,2 \cdot \omega_{min}, \quad (62)$$

$$\omega_{омс} = 1,2 \cdot 14,9 = 17,84 \text{ м/с.}$$

7.1.41.5 Количество отверстий в паропромывочном листе:

$$N_{омс} = \frac{4 \cdot D_2}{\rho_2'' \cdot \pi \cdot d_{омс}^2 \cdot \omega_{омс}}, \quad (63)$$

$$N_{омс} = \frac{4 \cdot 3,5}{1,39 \cdot \pi \cdot 0,006^2 \cdot 17,84} = 4986.$$

7.1.41.6 Среднее объемное паросодержание в паровом отсеке:

$$\varphi = 0,26 \cdot \left(\frac{\omega_{no}^2}{g \cdot \sqrt{\frac{\sigma_2}{(\rho_2' - \rho_2'') \cdot g}}}\right)^{0,4} \cdot \left(\frac{\rho_2''}{\rho_2' - \rho_2''}\right)^{0,12}, \quad (64)$$

$$\varphi = 0,26 \cdot \left(\frac{0,41^2}{g \cdot \sqrt{\frac{0,0535}{(937 - 1,39) \cdot 9,81}}}\right)^{0,4} \cdot \left(\frac{1,39}{937 - 1,39}\right)^{0,12} = 0,259.$$

7.1.41.7 Параметр  $N$ :

$$N = \frac{\omega_{no}^2}{\varphi \cdot g \cdot H_{no}}, \quad (65)$$

$$N = \frac{0,41^2}{0,259 \cdot 9,81 \cdot 0,747} = 0,087.$$

7.1.41.8 Критерий Галилея:

$$Ga = \frac{g \cdot \left( \frac{\sigma_2}{\rho_2'' \cdot g} \right)^{3/2}}{(\nu_2')^2}, \quad (66)$$

$$Ga = \frac{9,81 \cdot \left( \frac{0,00535}{1,39 \cdot 9,81} \right)^{3/2}}{(2,32 \cdot 10^{-7})^2} = 4,46 \cdot 10^{10}.$$

7.1.41.9 Критический параметр  $N_{крит}$  :

$$N_{крит} = 4,2 \cdot 10^{-6} \cdot Ga^{0,55} \cdot \left( \frac{\rho_2''}{\rho_2' - \rho_2''} \right)^{0,35}, \quad (67)$$

$$N_{крит} = 4,2 \cdot 10^{-6} \cdot (4,46 \cdot 10^{10})^{0,55} \cdot \left( \frac{1,39}{937 - 1,39} \right)^{0,35} = 0,31.$$

7.1.41.10 Влажность пара в паровом отсеке перед паропромывочным листом. Так как  $N < N_{крит}$ , то:

$$y_{no} = C \cdot \frac{\omega_{no}^{2,76}}{H_{no}^{2,3}}, \quad (68)$$

где  $C$  – коэффициент, зависящий от давления  $P_2$ ;

$$C = (0,142 + 5,156 \cdot P_2 - 12,373 \cdot P_2^2 + 16,768 \cdot P_2^3 - 7,744 \cdot P_2^4) \cdot 10^{-4},$$

$$C = (0,142 + 5,156 \cdot 0,25 - 12,373 \cdot 0,25^2 + 16,768 \cdot 0,25^3 - 7,744 \cdot 0,25^4) \times$$

$$\times 10^{-4} = 0,0091,$$

$$y_{no} = 0,0091 \cdot \frac{0,41^{2,76}}{0,747^{2,3}} = 0,0015.$$

7.1.41.11 Влажность пара на выходе из слоя воды. Так как  $N < N_{крит}$ ,

то:

$$y_{вл} = 5,4 \cdot 10^{12} \cdot A^{-1,15} \cdot y_{no1}, \quad (69)$$

$$A = h \cdot \left( \frac{\sigma_2 \cdot \rho_2'}{(\mu_2')^2} \right) \cdot \left( \frac{\rho_2' - \rho_2''}{\rho_2''} \right) = 5,69 \cdot 10^{10},$$

$$y_{вл} = 5,4 \cdot 10^{12} \cdot (5,69 \cdot 10^{10})^{-1,15} \cdot 0,0015 = 0,0034.$$

7.1.41.12 Концентрация солей в паровом отсеке перед первым паропромывочным листом:

$$C_{no1} = y_{no} \cdot C_{конц}, \quad (70)$$

$$C_{no1} = 0,0015 \cdot 2600 = 3,9 \text{ мг/кг.}$$

7.1.41.13 Концентрация солей в промывочной воде на первом листе:

$$C_{np.в}^{Л1} = C_{дв} + C_{но1} \cdot \eta_{np1}, \quad (71)$$

где  $\eta_{np1}$  – коэффициент промывки, принимаем  $\eta_{np1} = 0,93$ ;

$$C_{np.в}^{Л1} = 500 + 3,9 \cdot 0,93 = 503,6 \text{ мг/кг.}$$

7.1.41.14 Концентрация солей за первым паропромывочным листом:

$$C_{но2} = C_{но1} \cdot (1 - \eta_{np1}) + y_{вл} \cdot C_{np.в}^{Л1}, \quad (72)$$

$$C_{но2} = 3,9 \cdot (1 - 0,93) + 0,0034 \cdot 503,6 = 1,99 \text{ мг/кг.}$$

7.1.41.15 Концентрация солей во вторичном паре на выходе испарителя:

$$C_{u2} = C_{но2} \cdot \eta_c, \quad (73)$$

где  $\eta_c$  – коэффициент очистки пара от влаги в жалюзийном сепараторе, принимаем  $\eta_c = 0,8$ ;

$$C_{u2} = 1,99 \cdot 0,8 = 1,6 \text{ мкг/кг.}$$

Производимая испарителем очистка удовлетворяет поставленному условию.

## 7.2 Механический расчет

### 7.2.1 Расчет на прочность корпуса

Согласно [4] номинальная толщина рассчитываемого элемента  $S$  должна удовлетворять условию:

$$S \geq S_0 + C, \quad (74)$$

где  $S_0$  – расчетная толщина стенки;

$C$  – прибавка к расчетной толщине.

В общем случае прибавка  $C$  равна сумме:

$$C_1 + C_2 + C_3, \quad (75)$$

где  $C_1$  – прибавка, компенсирующее минусовое отклонение по толщине стенки полуфабриката;

$C_2$  – прибавка учитывающая искажение правильной геометрической формы, согласно [7] для прямолинейных цилиндрических элементов прибавка не учитывается;

$C_3$  - прибавка, учитывающая потери металла за счет коррозии, согласно [7] для стационарных теплообменников прибавка не учитывается.

7.2.2 Допустимое напряжение [7]. Корпус испарителя выполнен из листовой стали ВСт.:

$$[\sigma] = f(t_2) = 132,4 \text{ МПа.}$$

7.2.3 Минимальная толщина стенки корпуса без учета поправки:

$$S_0 = \frac{P_p \cdot d_k}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - P_p}, \quad (76)$$

где  $d_k$  – внутренний диаметр корпуса,  $d_k = 2804$  мм;

$P_p$  – расчетное давление;

$\varphi$  – коэффициент прочности, учитывающий ослабления корпуса швами и отверстиями, корпус испарителя выполнен сварным;

$$S_0 = \frac{0,25 \cdot 2804}{2 \cdot 0,85 \cdot 132,4 - 0,25} = 3,1 \text{ мм.}$$

7.2.4 Прибавку  $C$  для толщин от 8 до 25 следует принять равной 0,8 мм.

7.2.5 Проверяем условие прочности:

$$S_k \geq S_0 + C, \quad (77)$$

$$20 \geq 3,1 + 0,8 \text{ мм;}$$

$$20 \geq 3,9 \text{ мм,}$$

Принятое ранее значение толщины корпуса удовлетворяет условию прочности.

7.2.6 Коэффициент прочности корпуса, ослабленного одиночным неукрепленным отверстием:

$$\varphi_{но} = \frac{2}{\left( \frac{d}{\sqrt{(d_k + S_k) \cdot (S_k - C)}} \right) + 1,75}, \quad (78)$$

где  $d$  – диаметр патрубка подвода греющего пара;

$$\varphi_{но} = \frac{2}{\left( \frac{0,309}{\sqrt{(2,804 + 0,02) \cdot (0,02 - 0,0008)}} \right) + 1,75} = 0,65.$$

7.2.7 Предельный диаметр:

$$d_o = \left( \frac{2}{\varphi} - 1,75 \right) \cdot \sqrt{(d_k + S_k) \cdot (S_k - C)}, \quad (79)$$

$$d_o = \left( \frac{2}{0,85} - 1,75 \right) \cdot \sqrt{(2,804 + 0,02) \cdot (0,02 - 0,0008)} = 0,140 \text{ м.}$$

Так как диаметр отверстия превышает предельное значение его необходимо укреплять. Укрепление осуществляется при помощи штуцера.

7.2.8 Принимаем длину штуцера  $h_{um} = 0,055$  м [7];

Толщина штуцера  $S_{um} = 0,04$  м [7];

Площадь штуцера:

$$f_{um} = 2 \cdot h_{um} \cdot S_{um}, \quad (80)$$

$$f_{um} = 2 \cdot 0,055 \cdot 0,04 = 0,0044 \text{ м}^2.$$

7.2.9 Коэффициент прочности корпуса, ослабленного одиночным укрепленным отверстием:

$$\varphi_{oy} = \varphi_{но} \cdot \left[ 1 + \frac{f_{um}}{2 \cdot (S_k - C) \cdot \sqrt{(d_k + S_k) \cdot (S_k - C)}} \right], \quad (81)$$

$$\varphi_{oy} = 0,65 \cdot \left[ 1 + \frac{0,0044}{2 \cdot (0,02 - 0,0008) \cdot \sqrt{2,824 \cdot (0,02 - 0,0008)}} \right] = 0,69.$$

Расчет на прочность трубной доски

Соединение трубной доски с корпусом выполнено сваркой.

7.2.10 Допустимое напряжение [7]. Трубная доска испарителя выполнена из стали 20:

$$[\sigma] = f(t_2) = f(127,41 \text{ °C}) = 140,4 \text{ МПа.}$$

7.2.11 Первоначально принимаем толщину трубной доски  $S_{m\partial} = 83$  мм.

7.2.12 Коэффициент К [8]:

$$K = f\left(\frac{S_k}{S_{m\partial}}\right),$$

$$\left(\frac{S_k}{S_{m\partial}}\right) = \left(\frac{20}{83}\right) = 0,241,$$

$$K = f(0,129) = 0,97.$$

7.2.13 Диаметр отверстий трубной доски:

$$d_{o,m\partial} = 1,01 \cdot d_n, \quad (82)$$

где  $d_n$  – наружный диаметр труб,

$$d_{o,m\partial} = 1,01 \cdot 38 = 38,4 \text{ мм.}$$

7.2.14 Шаг между отверстиями. Так как трубы развальцованы:

$$t = 1,25 \cdot d_n$$

$$t = 1,25 \cdot 38 = 47,5 \text{ мм.}$$

7.2.15 Коэффициент прочности [8]:

$$\varphi = C_1 - C_2 \cdot \frac{d_{o,m\partial}}{t}, \quad (83)$$

где  $C_1, C_2$  – коэффициенты, зависящие от расположения трубок в трубной доске, при компоновке трубок по треугольнику;

$$\varphi = 0,935 - 0,65 \cdot \frac{38,4}{47,5} = 0,41.$$

7.2.15 Толщина трубной доски [8]:

$$S_{m\partial} = 0,393 \cdot K \cdot d_{тд} \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\varphi \cdot [\sigma]}}, \quad (84)$$

где  $d_{тд}$  – диаметр трубной доски (из чертежа прототипа);

$P_p$  – расчетное давление;

$$S_{тд} = 0,393 \cdot 0,97 \cdot 2,4 \cdot \sqrt{\frac{0,476}{0,41 \cdot 140,4}} = 83,2 \text{ мм.}$$

7.2.16 Погрешность расчета:

$$\delta S_{тд} = \frac{|S_{тд}^{\text{получ}} - S_{тд}^{\text{зад}}|}{S_{тд}^{\text{получ}}} \cdot 100, \quad (85)$$

$$\delta S_{тд} = \frac{|83,2 - 83|}{83,2} \cdot 100 = 0,24 \text{ \%}.$$

7.2.17 Расчет крышки. Крышка выполняется эллиптической со следующими соотношениями определяющих размеров [8]:

$$R_v/d_{к.н} = 0,8,$$

где  $d_{к.н}$  – наружный диаметр корпуса испарителя;

$R_v$  – радиус кривизны в вершине крышки;

$$R_e = d_{к.н} \cdot 0,8 = 2844 \cdot 0,8 = 2275 \text{ мм.}$$

7.2.18 Минимальная толщина стенки крышки без учета поправки:

$$S_0 = \frac{P_p \cdot R_e}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_p}, \quad (86)$$

где  $\varphi = 0,8$  – коэффициент прочности, учитывающий ослабления крышки швами и отверстиями [4];

$$S_0 = \frac{0,25 \cdot 2275}{2 \cdot 0,8 \cdot 132,4 - 0,5 \cdot 0,25} = 2,7 \text{ мм.}$$

7.2.19 Проверяем условие прочности:

$$S_k \geq S_0 + C;$$

$$20 \geq 2,7 + 0,8 \text{ мм;}$$

$$20 \geq 3,5 \text{ мм.}$$

Принятое ранее значение толщины корпуса удовлетворяет условию прочности.

7.2.20 Длина отбортованной части крышки [8]:

$$h_1 = 0,8 \cdot \sqrt{d_k \cdot (S_k - C)}, \quad (87)$$

где  $d_k$  – внутренний диаметр корпуса испарителя;

$$h_1 = 0,8 \cdot \sqrt{2,804 \cdot (20 - 0,8)} = 0,186 \text{ м.}$$

7.2.21 Коэффициент прочности крышки, ослабленной одиночным неукрепленным отверстием:

$$\varphi_{но} = \frac{2}{\left( \frac{d}{\sqrt{(d_k + S_k) \cdot (S_k - C)}} \right) + 1,75}, \quad (88)$$

где  $d$  – диаметр патрубка отвода вторичного пара;

$$\varphi_{но} = \frac{2}{\left( \frac{0,359}{\sqrt{(2,804 + 0,02) \cdot (0,02 - 0,0008)}} \right) + 1,75} = 0,608.$$

7.2.22 Предельный диаметр:

$$d_o = \left( \frac{2}{\varphi} - 1,75 \right) \cdot \sqrt{(d_k + S_k) \cdot (S_k - C)}, \quad (89)$$

$$d_o = \left( \frac{2}{0,6} - 1,75 \right) \cdot \sqrt{(2,804 + 0,02) \cdot (0,02 - 0,0008)} = 0,175 \text{ м.}$$

Так как диаметр отверстия превышает предельное значение его необходимо укреплять. Укрепление осуществляется при помощи накладки.

7.2.23 Ширина накладки:

$$b_H \leq \sqrt{(d_K + S_K) \cdot (S_K - C)} = \sqrt{(2,804 + 0,02) \cdot (0,02 - 0,0008)} = 0,233 \text{ м},$$

Принимаем ширину накладки  $b_H = 0,17$  ;

Толщина накладки  $S_H = 0,016$  м;

7.2.24 Площадь накладки:

$$f_H = 2 \cdot b_H \cdot S_H \quad (90),$$

$$f_H = 2 \cdot 0,17 \cdot 0,016 = 0,0054 \text{ м}^2.$$

7.2.23 Коэффициент прочности крышки, ослабленной одиночным укрепленным отверстием:

$$\varphi_{oy} = 0,608 \cdot \left[ 1 + \frac{f_H}{2 \cdot (S_K - C) \cdot \sqrt{(d_K + S_K) \cdot (S_K - C)}} \right], \quad (91)$$

$$\varphi_{oy} = 0,312 \cdot \left[ 1 + \frac{0,0054}{2 \cdot (0,02 - 0,0008) \cdot \sqrt{2,824 \cdot (0,02 - 0,0008)}} \right] = 0,651.$$

7.2.24 Расчет днища. Днище выполняется эллиптическим со следующими соотношениями определяющих размеров:

$$R_B/d_{к.н} = 0,8,$$

где  $d_{к.н}$  – наружный диаметр корпуса испарителя;

$R_B$  – радиус кривизны в вершине днища;

$$R_B = d_{к.н} \cdot 0,8 = 2844 \cdot 0,8 = 2275 \text{ мм}.$$

7.2.25 Минимальная толщина стенки днища без учета поправки:

$$S_0 = \frac{P_p \cdot R_B}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_p}, \quad (92)$$

где  $\varphi = 0,8$  – коэффициент прочности, учитывающий ослабления днища швами и отверстиями;

$$S_0 = \frac{0,25 \cdot 2275}{2 \cdot 0,8 \cdot 132,4 - 0,5 \cdot 0,25} = 2,7 \text{ мм}.$$

7.2.26 Проверяем условие прочности:

$$S_K \geq S_0 + C;$$

$$20 \geq 2,7 + 0,8 \text{ мм};$$

$$20 \geq 3,5 \text{ мм.}$$

Принятое ранее значение толщины корпуса удовлетворяет условию прочности.

7.2.27 Длина отбортованной части днища [8]:

$$h_1 = 0,8 \cdot \sqrt{d_k \cdot (S_k - C)}, \quad (93)$$

где  $d_k$  – внутренний диаметр корпуса испарителя;

$$h_1 = 0,8 \cdot \sqrt{2,804 \cdot (20 - 0,8)} = 0,186 \text{ м.}$$

7.2.28 Коэффициент прочности днища, ослабленной одиночным неукрепленным отверстием:

$$\varphi_{\text{HO}} = \frac{2}{\left( \frac{d}{\sqrt{(d_k + S_k) \cdot (S_k - C)}} \right) + 1,75}, \quad (94)$$

где  $d$  – диаметр патрубка отвода вторичного пара;

$$\varphi_{\text{HO}} = \frac{2}{\left( \frac{0,359}{\sqrt{(2,804 + 0,02) \cdot (0,02 - 0,0008)}} \right) + 1,75} = 0,608.$$

7.2.29 Предельный диаметр:

$$d_o = \left( \frac{2}{\varphi} - 1,75 \right) \cdot \sqrt{(d_k + S_k) \cdot (S_k - C)}, \quad (95)$$

$$d_o = \left( \frac{2}{0,6} - 1,75 \right) \cdot \sqrt{(2,804 + 0,02) \cdot (0,02 - 0,0008)} = 0,175 \text{ м.}$$

Так как диаметр отверстия превышает предельное значение его необходимо укреплять. Укрепление осуществляется при помощи накладки.

7.2.30 Ширина накладки:

$$b_H \leq \sqrt{(d_k + S_k) \cdot (S_k - C)} = \sqrt{(2,804 + 0,02) \cdot (0,02 - 0,0008)} = 0,233 \text{ м.}$$

Принимаем ширину накладки:  $b_H = 0,2 \text{ м};$

Толщина накладки:  $S_H = 0,016 \text{ м.}$

7.2.31 Площадь накладки:

$$f_H = 2 \cdot b_H \cdot S_H, \quad (96)$$

$$f_H = 2 \cdot 0,2 \cdot 0,016 = 0,0064 \text{ м}^2.$$

7.2.32 Коэффициент прочности крышки, ослабленной одиночным укрепленным отверстием:

$$\varphi_{oy} = 0,608 \cdot \left[ 1 + \frac{f_H}{2 \cdot (S_K - C) \cdot \sqrt{(d_K + S_K) \cdot (S_K - C)}} \right], \quad (97)$$

$$\begin{aligned} \varphi_{oy} &= 0,312 \cdot \left[ 1 + \frac{0,0064}{2 \cdot (0,02 - 0,0008) \cdot \sqrt{2,824 \cdot (0,02 - 0,0008)}} \right] = \\ &= 0,659. \end{aligned}$$

### 7.3 Расчет тепловой изоляции

7.3.1 Температуру стенки подогревателя принимаем равной температуре теплоносителя (пара):

$$t_{ст} = t_2 = 127,41 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

7.3.2 Температура наружной поверхности изоляции для закрытых помещений принимается по:

$$t_{из} = 45 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

7.3.3 Средняя температура изоляции:

$$t_{из.ср} = \frac{t_{из} + t_{ст}}{2} = \frac{45 + 127,41}{2} = 86,2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

7.3.4 Принимаем температуру окружающей среды:

$$t_{oc} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

7.3.5 Коэффициент теплоотдачи согласно [4] принимается в пределах 6...12 Вт/м<sup>2</sup>К, принимаем  $\alpha_n = 9$  Вт/м<sup>2</sup>К.

7.3.6 В качестве теплоизоляционного материала принимаем маты из минеральной ваты марки 75 [4].

Таблица 1— Свойства выбранного материала.

Плотность $\rho_{из}$ , кг/м <sup>3</sup>	Допустимая температура применения $t_{из}^{max}$ , °C	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{из}$ , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot^\circ\text{C}}$
115	300	0,062

7.3.7 Для цилиндрических объектов диаметром более 2 м толщина изоляции рассчитывается по формуле из:

$$\delta_{\text{из}} = \frac{\lambda_{\text{из}}(t_{\text{ст}} - t_{\text{из}})}{\alpha_{\text{н}}(t_{\text{из}} - t_{\text{ос}})}, \quad (98)$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,062 \cdot (127,41 - 45)}{9 \cdot (45 - 25)} = 0,028 \text{ м.}$$

#### 7.4 Расчет массы сухого испарителя

7.4.1 Расчет объема элементов испарителя. Крышка и днище:

$$V_{\text{кр}} = \pi \cdot d_{\text{к}} \cdot (H + h_1) \cdot S_{\text{к}}, \quad (99)$$

$$V_{\text{кр}} = \pi \cdot 2,804 \cdot (0,864 + 0,186) \cdot 0,02 = 0,185 \text{ м}^3.$$

7.4.2 Расчет массы корпуса:

$$V_{\text{корп}} = \frac{\pi \cdot (d_{\text{к.н}}^2 - d_{\text{к}}^2) \cdot h_{\text{к}}}{4}, \quad (100)$$

$$V_{\text{корп}} = \frac{\pi \cdot (2,844^2 - 2,804^2) \cdot 6,14}{4} = 1,171 \text{ м}^3.$$

7.4.3 Трубка греющей секции:

$$V_{\text{тр.гр.сек}} = \frac{\pi \cdot (d_{\text{н}}^2 - d_{\text{вн}}^2) \cdot H_{\text{гр}}}{4}, \quad (101)$$

$$V_{\text{тр.гр.сек}} = \frac{\pi \cdot (0,038^2 - 0,033^2) \cdot 1,53}{4} = 0,0004 \text{ м}^3.$$

7.4.4 Опускная труба:

$$V_{\text{оп.тр}} = \frac{\pi \cdot (d_{\text{оп}}^2 - d_{\text{в.оп}}^2) \cdot h_{\text{оп.тр}}}{4}, \quad (102)$$

$$V_{\text{оп.тр}} = \frac{\pi \cdot (0,076^2 - 0,07^2) \cdot 4,86}{4} = 0,0033 \text{ м}^3.$$

7.4.5 Паропромывочный лист:

$$V_{\text{л}} = \frac{\pi \cdot (d_{\text{к}}^2 - N \cdot d_{\text{отв}}^2) \cdot h_{\text{л}}}{4}, \quad (103)$$

$$V_{\text{л}} = \frac{\pi \cdot (2,804^2 - 4986 \cdot 0,006^2) \cdot 0,04}{4} = 0,241 \text{ м}^3.$$

7.4.6 Жалюзийный сепаратор:

$$V_{\text{с}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{к}}^2 \cdot h_{\text{с}}}{8}, \quad (104)$$

$$V_c = \frac{\pi \cdot 2,804^2 \cdot 0,04}{8} = 0,124 \text{ м}^3.$$

7.4.7 Трубная доска:

$$V_{\text{тр.д}} = \frac{\pi \cdot (d_{\text{тр.д}}^2 - N \cdot d_{\text{отв}}^2) \cdot h_{\text{тр.д}}}{4}, \quad (105)$$

$$V_{\text{тр.д}} = \frac{\pi \cdot (2,4^2 - 1736 \cdot 0,038^2) \cdot 0,155}{4} = 0,396 \text{ м}^3.$$

7.4.8 Подводящая труба греющего пара:

$$V_{\text{п.тр}} = \frac{\pi \cdot (d_{\text{н}}^2 - d_{\text{вн}}^2) \cdot l_{\text{тр}}}{4}, \quad (106)$$

$$V_{\text{п.тр}} = \frac{\pi \cdot (0,325^2 - 0,309^2) \cdot 3,06}{4} = 0,0244 \text{ м}^3.$$

7.4.9 Общий объем металла испарителя:

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{кр}} \cdot N_{\text{кр}} + V_{\text{корп}} + V_{\text{тр.гр.сек}} \cdot N_{\text{тр.гр.сек}} + V_{\text{оп.тр}} \cdot N_{\text{оп.тр}} + V_{\text{л}} + V_{\text{с}} + \\ + V_{\text{тр.д}} \cdot N_{\text{тр.д}} + V_{\text{п.тр}}, \quad (107)$$

$$V_{\text{общ}} = 0,185 \cdot 2 + 1,171 + 0,0004 \cdot 1736 + 0,0033 \cdot 12 + 0,241 + 0,124 + \\ + 0,396 \cdot 2 + 0,0244 = 3,503 \text{ м}^3.$$

7.4.10 Масса испарителя:

$$M_{\text{исп}} = 1,1 \cdot V_{\text{общ}} \cdot \rho, \quad (108)$$

где  $\rho = 7900 \text{ кг/м}^3$  – плотность металла испарителя [2],

$$M_{\text{исп}} = 1,1 \cdot 3,503 \cdot 7900 = 30439 \text{ кг}.$$

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3 – 5Б2АС1	Власова Анна Сергеевна

<b>Институт</b>		<b>Кафедра</b>	
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	Теплоэнергетика и теплотехника

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	1. Проектно-изыскательные работы. ТЭЦ КМК химический цех. Строительство БРВ, монтаж испарителя. Прочие расходы. Проектировщик – инженер. Руководитель – доцент.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	2. Принять на основании производственных расчетов и из анализа отчетов объекта исследования.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	3. Отчисления на социальные нужды – 30%. Районный коэффициент – 30%.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	1. Расчет затрат и договорной цены, на проектирование. Формирование плана и графика разработки проекта.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	2. Определение затрат на осуществления проекта. Формирование сметы на проект
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	3. Оценка экономической эффективности. Ущерб загрязнения водоёмов от ТЭЦ КМК. Система платежей за выбросы.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

--	--

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	10.03.2016
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ст.преподаватель	Кузьмина Наталья Геннадьевна	—		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3 – 5Б2АС1	Власова Анна Сергеевна		

## 8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 8.1 Расчет затрат на проектирование и исследование ВКР

Затраты на проектирование ВКР подразделяются на: капитальные (единовременные) и текущие. Капитальные затраты на НИР включают в себя: стоимость необходимых материалов для проведения НИР.

Расчет экономических показателей ведем по [10]:

Таблица №2 – Формирование плана и графика разработки проекта.

Наименование работ	Количество исполнителей	Продолжительность, в днях
Выдача и получение задания	НР (доцент 15р.) Инженер (10р.)	1
Исследование литературы	Инженер (10р.)	13
Консультация	НР (доцент 15р.) Инженер (10р.)	1
Анализ объекта исследования	Инженер (10р.)	7
Исследование возможных вариантов решения	Инженер (10р.)	7
Расчет оптимального варианта	Инженер (10р.)	11
Консультация	НР (доцент 15р.) Инженер (10р.)	1
Оформление работы согласно нормам	Инженер (10р.)	7
Подписание работы руководителем, консультация	НР (доцент 15р.) Инженер (10р.)	2
Итого:	НР (доцент 15р.) Инженер (10р.)	4 50

#### 8.1.1 Капитальные вложения в проект:

$$K_{np} = U_{mat} + U_{ам} + U_{зн} + U_{co} + U_{np} + U_{накл}, \quad (109)$$

где  $U_{mat}$  – материальные издержки 4500 руб.;

$U_{ам}$  – издержки на амортизацию, руб.;

$U_{зн}$  – издержки на заработанную плату, руб.;

$U_{со}$  – издержки на социальные отчисления, руб.;

$U_{пр}$  – прочие издержки, руб.;

$U_{накл}$  – накладные расходы, руб.

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных со стороны товаров (в данном случае к ним относятся приобретенные канцтовары). И общая сумма составляет 4500 рублей.

8.1.2 Амортизационные затраты это есть отчисления на полное восстановление основных производственных фондов. Амортизационные затраты рассчитываются:

$$U_{ам} = \frac{T_{исп}}{T_{кал}} \cdot Ц_{км} \cdot \frac{1}{T_{сл}}, \quad (110)$$

где  $T_{исп}$  – время использования персонального компьютера, 40 дней;

$T_{кал}$  – число дней в календарном году, 365 дней;

$Ц_{км}$  – стоимость персонального компьютера, 28000 руб.;

$T_{сл}$  – срок службы персонального компьютера, 7 лет.

$$U_{ам} = \frac{40}{365} \cdot 28000 \cdot \frac{1}{7} = 306,9 \text{ руб.}$$

8.1.3 Выплаты за фактическую выполненную работу, согласно должностных окладов – издержки на заработную плату. Затраты на заработанную плату рассчитываются как:

$$U_{ЗП} = U_{ЗП_{рук}}^{факт} + U_{ЗП_{инж}}^{факт}, \quad (111)$$

где  $ЗП_{рук}$  – фактическая заработанная плата руководителя, руб.;

$ЗП_{инж}$  – фактическая заработанная плата инженера, руб.

8.1.4 Заработанная плата руководителя рассчитывается как:

$$U_{ЗП}^{мес} = (ЗП_0 \cdot K_1 + Д) \cdot K_2, \quad (112)$$

где  $ЗП_0$  – месячный оклад 23300 руб.;

$K_1$  – коэффициент учитывающий отпуск 10%;

$D$  – доплата за интенсивность труда 2200 руб.;

$K_2$  – районный коэффициент 30%.

$$U_{3П}^{рук.мес} = (23300 \cdot 1,1 + 2200) \cdot 1,3 = 36179 \text{ руб.}$$

8.1.5 Фактическая зарплата руководителя составит:

$$U_{3П}^{рук.факт} = \frac{U_{3П}^{рук.мес}}{21} \cdot n_{\phi}, \quad (113)$$

где  $U_{3П}^{мес}$  – Заработанная плата руководителя за месяц;

$n_{\phi}$  – Количество дней консультации у руководителя по факту, принимаем из таблицы 1;

$$U_{3П}^{\phi} = \frac{U_{3П}^{мес}}{21} \cdot n_{\phi} = \frac{36179}{21} \cdot 4 = 6891 \text{ руб.}$$

8.1.6 Заработанная плата инженера рассчитывается как:

$$U_{3П}^{мес} = 3П_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (114)$$

где  $3П_0$  – месячный оклад 14500 руб.;

$K_1$  – коэффициент учитывающий отпуск 10%;

$K_2$  – районный коэффициент 30%;

$$U_{3П}^{инж.мес} = 14500 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 20735 \text{ руб.}$$

Но так как работа для инженера длится 50 дней (согласно таблице № 2), рассчитаем зарплату за все дни:

$$U_{3П}^{инж} = \frac{U_{3П}^{инж.мес}}{21} \cdot n_{\phi} = \frac{20735}{21} \cdot 50 = 49369,1 \text{ руб.}$$

$$U_{3П} = U_{3П}^{рук.факт} + U_{3П}^{инж.мес} + U_{3П}^{инж.факт}, \quad (115)$$

$$U_{3П} = 6891 + 20735 + 19747,6 = 47373,6 \text{ руб.}$$

8.1.7 Социальные отчисления являются обязательными, в размере 30% от фонда заработной платы, и направляются в пенсионные фонды, фонды медицинского страхования, а также в государственные фонды занятости. Социальные отчисления рассчитываются как:

$$U_{co} = U_{3П} \cdot 0,7, \quad (116)$$

$$U_{co} = 47373,6 \cdot 0,3 = 14212,08 \text{ руб.}$$

8.1.8 Прочими затратами являются: оплата услуг связи, налоги, плата за аренду помещения и т.д. Прочие затраты рассчитываются как:

$$U_{\text{проч}} = 0,1 \cdot (U_{\text{мат}} + U_{\text{ам}} + U_{\text{зн}} + U_{\text{со}}), \quad (117)$$

$$U_{\text{проч}} = 0,1 \cdot (4500 + 306,9 + 47373,6 + 14212,08) = 6639,3 \text{ руб.}$$

8.1.9 Накладные расходы – это управленчески – хозяйственные расходы, сюда включается оплата электроэнергии, воды и другие виды затрат. Накладные расходы рассчитываются как:

$$U_{\text{накл}} = 200\% \cdot U_{\text{ЗП}}, \quad (118)$$

$$U_{\text{накл}} = 200\% \cdot 47373,6 = 94747,2 \text{ руб.}$$

8.1.10 Тогда смета затрат на ВКР составит:

$$K_{\text{пр}} = U_{\text{мат}} + U_{\text{ам}} + U_{\text{зн}} + U_{\text{со}} + U_{\text{пр}} + U_{\text{накл}}, \quad (118)$$

$$K_{\text{пр}} = 4500 + 306,9 + 47373,6 + 14212,08 + 6639,3 + 94747,2 = 167779,1 \text{ руб.}$$

Все расчеты по затратам на работу приведены в таблице №2

Таблица 3. Смета затрат на проект

Вид затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	4500
Амортизационные затраты	306,9
Затраты на заработанную плату	47373,6
Социальные отчисления	14212,08
Прочие затраты	6639,3
Накладные расходы	94747,3
Итого	167779,1

## 8.2 Определение затрат на осуществление проекта

В результате умягчения сырой воды, до определенных норм, образуются регенерационные сточные воды. Эти воды имеют повышенную концентрацию минеральных соединений. Для снижения количества регенерационных сточных вод, выбираем метод термического испарения, а также вторичное использование регенерационных сточных вод с помощью БРВ.

Для внедрения данной работы, потребуются затраты на необходимое оборудование, измерительные приборы, запорную и регулирующую арматуру и т.д. Представлена в таблице № 4.

Таблица 4 –Основное и вспомогательное оборудование

Наименование оборудования	приобретаемого	Количество, шт	Рыночная цена, руб
Термический испаритель		1	1890000
Бак регенеративных вод		2	428000
Центробежный насос		2	50000
Регулирующая и запорная		—	330000
Прочее		—	56000
Итого:		—	3232000

8.2.1 Общие затраты на работу, с монтажом:

$$K_{об} = K_{общ} + I_{монт}, \quad (119)$$

где  $I_{монт}$  - принимается 15% от общей сметы затрат;

$$K_{об} = 3232000 + 484800 = 3716800 \text{ руб.}$$

8.2 Капитальные вложения в внедряемую часть составят:

$$K_{вндр} = K_{пр} + K_{об}, \quad (120)$$

$$K_{вндр} = 198259,7 + 3716800 = 3915059,7 \text{ руб.}$$

8.3 Оценка экономической эффективности

8.3.1 Экологический ущерб от загрязнения водоёмов ТЭЦ КМК

Экологическим ущербом является возможные и фактические убытки, включающие в себя упущенную выгоду обязательные добавочные затраты на устранение отрицательных последствий для функционирования животных, растений, человека и других живых организмов.

[11]:

Расчет производится согласно

8.3.2 Ущерб от загрязнения водоёмов, зависит от участка сброса и категории водоёма, рассчитывается по формуле:

$$Y_{\text{вод}} = \gamma \cdot \delta \cdot M, \quad (121)$$

где  $\gamma$  – константа, рекомендованное число для сбросов в водоёмы, после 1985 г., принимаем 400 руб./усл.т.;

$\delta$  – показатель степени пользования систем или водохозяйственных участков, принимаем 1,1;

$M$  – масса приведенная годового выброса загрязнителей ТЭЦ КМК, усл.т/год.;

8.3.4 Определим массу приведенную годового выброса загрязнителей:

$$M = A_{cl} \cdot m_{cl}, \quad (122)$$

где  $A_{cl}$  – показатель опасности сброса расчетного вещества в водоёмы, усл.т/т;

$m_{cl}$  – масса сброса примеси, т/год;

$$M_1 = 0,05 \cdot 262800 = 13140 \text{ усл.т/год};$$

$$Y_{\text{вод1}} = 400 \cdot 1,1 \cdot 5256 = 2312640 \text{ р/год.}$$

После внедрения данного проекта, сброс регенеративных сточных вод сократиться на 80 %. Рассчитаем заново ущерб после внедрения.

$$M_2 = 0,05 \cdot 105120 = 5256 \text{ усл.т/год};$$

$$Y_{\text{вод2}} = 400 \cdot 1,1 \cdot 5256 = 2312640 \text{ р/год.}$$

8.3.5 Система платежей за загрязнение водных бассейнов. Плата за выбросы осуществляется для компенсации выбросов в водные бассейны, допустимых количеств, либо превышающих.

Общее количество сбросных вод ТЭЦ КМК находится в пределах допустимых выбросов, согласно базовым нормативам.[12]

8.3.6 Ставка платы за выброс определяется как:

$$C_1 = H_{\text{б}} \cdot K_3 \cdot K_u, \quad (123)$$

где  $H_{\text{б}}$  – базовый норматив за 1 тонну загрязняющих выбросов, согласно данным 2006г. Равен 0,9 руб. – это плата за выброс в пределах нормы;

$K_s$  - коэффициент экологической значимости и ситуации в данном регионе, для Западной Сибири принимается 1,4;

$K_u$  - коэффициент индексации, устанавливается на федеральном уровне каждый год, для 2016г. Равен 2,67 (консультант плюс).

$$C_1 = 0,9 \cdot 1,4 \cdot 2,67 = 16,8 \text{ р/т.}$$

8.3.7 Тогда годовая плата за выбросы, при  $M \leq ПДВ$  составит:

$$П_1 = C_1 \cdot M_1, \quad (124)$$

$$П_1 = 16,8 \cdot 13140 = 220752 \text{ руб.}$$

Плата после внедрения проекта составит:

$$П_2 = C_1 \cdot M_2 = 16,8 \cdot 5256 = 88300,8 \text{ руб.}$$

8.3.8 Экологический эффект от природоохранного мероприятия составит:

$$\Delta Y = Y_{год1} - Y_{год2} = 5800000 - 2312640 = 3,5 \cdot 10^6 \text{ руб.}$$

3.2.4 Экономический эффект от использования природоохранного мероприятия составит:

$$\Delta П = П_1 - П_2 = 220752 - 88300,8 = 132451,2 \text{ руб.}$$

3.2.5 Общий экономический эффект составит:

$$\mathcal{E} = \Delta П + \Delta Y = 132451,2 + 3,5 \cdot 10^6 = 3,63 \cdot 10^6 \text{ руб.}$$

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Б2АС1	Власовой Anne Сергеевне

Институт	ИнЭО	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Теплоэнергетика и теплотехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание предприятия, его рабочих зон, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>- негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера).</li> </ul>	<p>Объект исследования ТЭЦ КМК . Обслуживание оборудования в химическом цехе, где имеются опасные и вредные факторы. Оказывается негативное воздействие на : атмосферу, гидросферу, литосферу. Вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций экологического, социального, стихийного, техногенного характера.</p>
<p>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>Федеральный закон №123-ФЗ от 22.07.2008г.(ред. От 10.07.2012г.)&lt;технический регламент о требованиях к пожарной безопасности&gt; Федеральный закон № 184-ФЗ&lt;О техническом регулировании &gt; от 27 декабря 2002 года. Федеральный закон № 426- ФН от 28 декабря 2013 года &lt; о специальной оценке условий труда&gt;</p>

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>- действие фактора на организм человека;</li> <li>- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем - индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<p>Выявленные вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вредные проявления факторов ( вредные вещества, недостаточное освещение, вибрации, шумы)</li> </ul>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- электробезопасность;</li> <li>- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	<p>Выявленные опасные факторы</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пожароопасность, взрывоопасность</li> <li>- электрический ток</li> <li>- механизмы рабочего оборудования</li> <li>- повышенная температура поверхностей оборудования и материалов</li> </ul>
<p>3. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>Воздействия на окружающую среду :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- воздействия ТЭЦ на атмосферу (выбросы)</li> </ul>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> </ul>	<p>Чрезвычайные ситуации.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-действия возникновении аварий АХОВ</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>	
--	--

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	10.03.2016г.
---	--------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Доцент</b>	<b>Гусельников М.Э</b>	<b>к.т.н.,доц.</b>		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б2АС1	Власова Анна Сергеевна		

## 9 Социальная ответственность проекта

### 9.1 Производственная безопасность

#### 9.1.1 Промышленная санитария

Промышленная санитария занимается вопросами охраны здоровья трудящихся и улучшений условий труда. Все это добивается путем обеспечения: вентиляции, душа, чистоты, порядка, оптимальной температуры, хорошего освещения.

Санитарные показатели должны соответствовать по нормативам микроклимата. Нормы климата производственных площадей, рабочих мест с обязательным учетом периода выполнения работ, времени года, напряженности работника – должны соответствовать санитарным правилам.

Характеристики микроклимата промышленных площадей:

- влажность воздуха;
- температура воздуха;
- вентиляция помещения;
- мощность теплового излучения.

Оптимальные нормы микроклимата приведены ниже в таблице № 5.

Таблица №5 Оптимальные показатели микроклимата на трудовых местах производственных площадей. [13]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат ,Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %.	Скорость движения воздуха, м/с
теплый	Iа (до 140)	23-26	60-40	0,1
	Iб (140-175)	22-25	60-40	0,1
	IIа (175-233)	20-23	60-40	0,2
	IIб (233-290)	19-22	60-40	0,2
	III (более 290)	18-21	60-40	0,3
холодный	Iа (до 140)	23-26	60-40	0,1
	Iб (140-175)	22-25	60-40	0,1
	IIа (175-233)	20-23	60-40	0,2
	IIб (233-290)	19-22	60-40	0,2
	III (более 290)	18-21	60-40	0,3

Если будут соблюдаться оптимальные климатические условия, при которых обеспечивается ощущение комфорта, при продолжительности всей смены без отклонений здоровья, это будет способствовать высокой работоспособности. Большую необходимость поддерживать оптимальный микроклимат необходимо на рабочих местах операторского типа, где работа связана с нервным и эмоциональным напряжением (щит управления, кабинеты, залы с щитами управления).

В свою очередь предельные микроклиматические условия не проявляют повреждений или нарушений здоровья, но чаще всего приводят к упадку сил – снижению работоспособности.

При возможности устранить неблагоприятное влияние микроклимата из-за производственных запросов к технологическому процессу, а также экономической неоправданности, эти условия микроклимата принято считать опасными или вредными. Для уменьшения нежелательного влияния микроклимата используют: местное кондиционирование, небольшие перерывы в процессе работы, удобную и качественную спецодежду, СИЗы, комнату отдыха, возможно даже сокращение продолжительности рабочего дня.

#### 9.1.2. Освещенность производственных помещений

Дефицит освещения рабочего места усложняет рабочий процесс, вызывая переутомление, усиливает угрозу производственной травмы. Долгое нахождение в помещении с недостаточным освещением приводит к снижению метаболизма в организме, ослаблению его энергичности, а также приводит к развитию близорукости.

Избыток яркого света ослепляет, ослабляет зрительную деятельность, является причиной перевозбуждения нервной системы, снижает выносливость, а слишком яркий свет может вызывать катаракты, фотоожоги глаз и кожи, и другие расстройства зрения.

На производстве используют три вида освещения: искусственное, естественное и совмещенное.

Качество уровня освещенности какого либо помещения, кабинета определяет технический работник, на основании указанных норм освещенности. [13]

### 9.1.3 Системы вентиляций производственных помещений

Производственная вентиляция состоит из системы, которая образует нормальный воздухообмен удаляя чрезмерную влажность, нежелательные газы, избыточное тепло. Образуя при этом подходящий микроклимат на рабочих местах. Для организации на технологических площадях эффективного проветривания с учетом особенностей технологических факторов и помещений (температура, загазованность), выбирают и рассчитывают специалисты исходя из необходимости вентиляции. Разновидности вентиляций:

- аспирация – устранение пыли и газов, которые образуются в режиме эксплуатации оборудования.
- дымоудаление – при пожаре уберегает от удушения газом (угарным).
- приточная – очищает, удаляет, насыщает очищенным чистым воздухом технологические помещения.

### 9.1.4 Предохранение персонала от вредных влияний производственной вибрации, шума

Вибрация и шум ещё один из вреднейших факторов, влияющий на работников. Воздействие шума на человека зависит от звукового давления, диапазона шума, а также от размеренности влияния в течении всей смены.

Часть рабочего времени персонал пребывает в закрытых отдельных помещениях. При подготовке, приемке смены, при очередном обходе эксплуатируемого оборудования – оно должно быть распределено по времени и по очередности, а также обязательно применение СИЗ (наушники, беруши и т.д.) для снижения влияния на персонал вредных условий труда.

Последствие вредного влияния вибрации и шума на работников является: снижение устойчивого ясного виденья и четкость зрения, сбой вестибулярного аппарата, деятельность желудочно-кишечного тракта, увеличивается внутри черепное давление. В дальнейшем повреждается

понимание реальной информации, адекватность работ – что ведет к снижению работоспособности .

Ликвидация вредных воздействий от шума на персонал в производственных условиях получается за счет мер, согласно ГОСТ 12.1.003 ССБТ: удобное расположение оборудования, защита площадок обслуживания оборудования, регулирование и управление шумным оборудованием дистанционно, изоляция оборудования и рабочего места от звука, применение СИЗ. [13]

## 9.2 Опасные факторы

### 9.2.1. Пожарная безопасность

На ТЭЦ большое количество оборудования представляет угрозу пожарной безопасности. Поэтому разрабатываются различные действия, в которые входят:

- выбор ответственного лица по организации;
- противопожарный режим на предприятии;
- формирование и организация хранения горючих и взрывчатых материалов согласно требованиям ;
- переподготовка и обучение персонала правилам пожарной безопасности;
- подготовка инструкций по пожарной безопасности для каждого цеха;
- недопустимость посторонних лиц на охраняемые объекты, где хранятся, используются взрывоопасные материалы;
- присутствие первичных средств пожаротушения.

На ТЭЦ КМК имеется пожарно-технический трубопровод с имеющимися гидрантами на лестничных пролетах по 2 шт., на каждом этаже строения по 3шт., а также установлены огнетушители пенные и углекислотные (на щитах управления, на лестничных пролетах, возле оборудования с высокой пожарной опасностью). Также в каждом цехе имеется ящик с песком и противопожарный инвентарь. [14]

### 9.2.2 Электробезопасность

Состояние электробезопасности влияет на охрану здоровья и жизни работников, их защиту от влияния электрического тока, улучшение надежности работы оборудования, исключая аварии и инциденты с электроустановками.

Влияние электрического тока на человека, вызывает опасные и вредные факторы: влияние электрической дуги, электромагнитного излучения, электрического поля, а также возможно поражение электрическим током.

СИЗ для электрозащиты персонала, обслуживающего электроустановки: изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, различные указатели напряжения, бесконтактные сигнализаторы наличия напряжения, изолированный инструмент, диэлектрические перчатки, боты, галоши, ковры, изолирующие костюмы, изолирующие подставки.

Так же должны быть в наличии, и в использовании предупреждающие таблички: указательные, запрещающие, предупреждающие, разрешающие. [14] Различают электротравмы по степени влияния на человека:

- 1) Слабые судороги, сокращения мышц;
- 2) Судороги, потеря сознания;
- 3) Потеря сознания, расстройство дыхательной деятельности;
- 4) Клиническая смерть, когда отсутствует кровообращение и дыхание.

### 9.2.3. Механизмы рабочего оборудования

К движущимся частям машин и механизмов относятся электроприводы, части вращающихся механизмов.

Для снижения травматизма на предприятии используют: ограждения на площадках, сигнальные стопы, предупреждающие плакаты, проводят различные виды инструктажей, выдаются СИЗ работников от влияния вращающихся элементов технологического оборудования. Предусматривается ограждение трубопроводов, предохранительных клапанов, электросиловых кабелей и других элементов, ухудшение которых вызывает опасность.

## 9.2.4 Тепловые излучения и опасность термического ожога

Во время работы ТЭЦ, в обычном режиме, имеет место тепловое излучение. Самое большое тепловое излучение концентрируется в котельном и турбинных цехах.

Для снижения теплового излучения и понижения возможности тепловых ожогов по ГОСТ 12.4.123-83 «Система стандартов безопасности труда. Средства коллективной защиты от инфракрасных лучей. Общие технические средства» требуются следующие меры безопасности: тепловая изоляция на трубопроводах и котлах (при температуре поверхностей более 45 °С), ограждение мест (где выделяется большое количество тепла), вентилирование рабочих мест, использование спецодежды согласно нормам.

В таблице №2 приведены возможные уровни теплового излучения поверхности тела рабочих от производственных источников, в соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96.

Таблица 6 – возможные уровни теплового излучения поверхности тела рабочих от производственных источников.

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup>
≥50	≤35
25–50	≤70
≤25	≤100

## 9.3 Экологическая безопасность

### 9.3.1 Вредные выбросы

Самым большим вредным выбросом от ТЭЦ в окружающую среду является оборудование работающее на твердом виде топлива – торф, бурый уголь, горючие сланцы.

Считается что самым «безвредным» топливом для ТЭЦ является различные виды газа. Но газотурбинные установки не так уж и безвредны,

так как при сжигании образуется диоксид углерода, оксид серы и азота, аммиак, несгоревшие углероды.

Все виды топлива по своим продуктам сгорания делятся на классы опасности:

- чрезвычайно опасные: бензапирен, пентаксид ванадия и т.д.;
- опасные: летучая зола при концентрации  $\text{CaO} \geq 35\%$ ;
- умеренно опасные: летучая зола  $\text{CaO} \leq 35\%$ ;
- малоопасные: аммиак, углекислота;
- безопасные: кислород, вода.

В Российской Федерации действует закон об охране окружающей среды, атмосферного воздуха, в нем установлены нормативы: предельно допустимые концентрации, предельно допустимые массовые выбросы, нормативные удельные выбросы. [15]

#### 9.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

На ТЭЦ КМК согласно видам чрезвычайных ситуаций разработаны планы по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций: [16]

- ЧС, связанные с разливом нефтепродуктов (разгерметизация железнодорожной цистерны, резервуара с мазутом);
- ЧС, связанные с авариями на опасных производственных объектах (пролив серной, соляной кислоты; горение природного газа при разгерметизации газопровода; пожар пролива горючих и легковоспламеняющихся жидкостей);
- ЧС, связанные с авариями на гидротехнических сооружениях (разрушение дамбы);
- ЧС, связанные с пожарами;
- ЧС связанные с террористическими актами;
- ЧС связанные со стихийными природными явлениями (ураганных ветров, низких температур и т.д.).

Рассмотрим ЧС при возникновении аварий с АХОВ:

При возникновении ЧС вследствие возникновения аварии. С АХОВ, руководитель станции исходя из сложившейся обстановки организуется проведение следующих мероприятий:

- в течение 5 минут проводится оповещение работников объекта и населения о химическом заражении;

- организуется оповещение и сбор руководящего состава;

- в течении 10 минут силами формирования охраны общественного порядка организуется ускоренная эвакуация, в сторону перпендикулярно направлению ветра;

- принимаются меры по герметизации помещения от проникновения в них опасных химических веществ;

- при выходе из возможной зоны заражения необходимо использовать противогазы;

- на пути распространения зараженного воздуха организовывается отсечные водяные завесы;

- силами санитарной дружины организуется медицинская помощь пораженным, готовятся ватно-марлевые повязки.

## Заключение

В результате выполненной работы был проведен анализ по снижению загрязнений окружающей среды жидкими технологическими отходами ТЭЦ КМК. В состав этой установки входит оборудование: два БРВ объемами по 8 м<sup>3</sup>, один испаритель марки И-290-1, два насоса типа 2К 45/30. А также уже установленные на предприятии: двадцать пять Na — катионитовых фильтров, ПСВ, промышленная канализация. В результате анализа этой установки, выявлено что: расход и концентрация регенерационных вод снижается. Расход обработанного регенерационного раствора в испаритель составляет 12,6 т/ч, а расход упаренного раствора составляет всего лишь 0,015 т/ч. Концентрация соляного раствора, после вторичного использования сократиться примерно в 2 раза. При использовании испарителя, получим добавочную воду, для восполнения потерь паровых котлов, что снизит основную нагрузку на ХВО №1.

Таким образом, в результате проведенного анализа будет выполнена задача по снижению сточных вод ТЭЦ КМК. Так же затронута экономия оборотных средств на реагентах. Уменьшится плата за загрязняющие сточные воды, ввиду сокращения их количества и концентрации. Минимален ущерб окружающей среде от сточных вод.

Применение установки рекомендуется использовать постоянно.

## Список используемых источников

1. Беспалов В. И., Беспалова С. У., Вагнер М. А. Природоохранные технологии на ТЭС: учеб. Пособие / Беспалов В. И., Беспалова С. У., Вагнер М. А.; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 168 с.
2. О.В. Лифшиц. Справочник по водоподготовке котельных установок. М: Энергия, 1976.
3. Любимова Л.Л. Инженерные расчеты в водоподготовке паровых и водогрейных котлов: учеб. пособие / Л.Л. Любимова, А.С. Заворин, А.А. Ташлыков; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 133 с.
4. Галашов Н.Н. Тепломеханическое и вспомогательное оборудование электростанций: учебное пособие / Н.Н. Галашов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Национального исследовательского Томского политехнического университета, 2010. – 244 с.
5. Теплообменное оборудование паротурбинных установок. Отраслевой каталог 20-89-09, ч. 2. – М.: ЦНИИТЭИТЯЖМАШ, 1989. – 83 с.
6. С.Л.Ривкин , М.П.Вукалович , А.А.Александров. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара – М.: Изд-во стандартов, 1969. – 408 с.
7. И.К.Никитина.Справочник по трубопроводам тепловых электростанций. М: Энергоатомиздат, 1983. – 176 с.
8. Л.А.Рихтер, Д.П.Елизаров, В.М.Лавыгин. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций. М: Энергоатомиздат, 1987. – 216 с.
9. Л.С.Стерман, С.А.Тевлин, А.Т.Шарков. Тепловые и атомные электростанции. М: Энергоатомиздат, 1982. – 456 с.

10. Коршунова Л.А. Управление и организация производства: учеб.пособие / Л.А.Коршунова, Н.Г.Кузьмина; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. — 189 с.

11. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Основы технико-экономического обоснования экологических проектов: учеб. Пособие / Л.А.Коршунова, Н.Г.Кузьмина; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2006. — 112 с.

12. РД 153-34.0-02.405.99. Методические указания по нормированию сбросов загрязняющих веществ со сточными водами тепловых электростанций. — М.: ВТИ, 2000.

13. СНиП 41–01–2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование.

14. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

15. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации изд. 15–е. — М.: СПО ОРГРЭС, 1996. - 160 с.

16. Методическое пособие по курсу “Охрана природы” для студентов специальности 10.05 – “ТЭС”/ В.А.Золоторёва, Н.Б.Карницкий, В.А.Чиж.- Мн.: БГПА,1990г

Формат Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол	Приме- чание
	1	БРВ №1	Бак регенеративных вод №1	1	
	2	БРВ №2	Бак регенеративных вод №2	1	
	3	ПСВ-315-3-23	Подогреватель сырой воды	2	
	4	И-250-1	Испаритель	1	
	5	ФИПа1-2,0-0,6Na	Na-катионитовый фильтр	25	
	6	2К45/30	Насос регенерационных вод	2	
	7				
	8				
	9				
	10				
	11				
	12				
	13				
	14				
	15				
	16				
	17				
	18				
	19				
	20				
	21				
	22				
	23				
	24				
	25				
	26				
	27				
	28				
<b>ФЮРА 311358.002.C2</b>					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.		Власова А.С.			
Проб.		Беляев Л.А.			
Н.контр.		Вагнер М.А.			
Утв.		Матвеев А.С.			
Принципиальная схема для снижения количества сточных вод ТЭЦ КМК				Лист	Листов
				1	1
				ТПУ ИнЭО Группа 3-5Б2АС1	
				Формат А4	

Копировал