

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Политехнический институт  
Энергетический факультет  
Кафедра «Промышленная теплоэнергетика»  
Направление подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

ВЫПУСКНАЯ  
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
ПРОВЕРЕНА  
Рецензент,  
Инженер ПТО, ООО «Гранд Проджект»  
\_\_\_\_\_ М.М. Шабанов  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
«Промышленная теплоэнергетика»  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ К.В. Осинцев  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**Реконструкция РВП «А» котла ТГМП-114 филиала «Ириклинская ГРЭС»  
АО «Интер-РАО-Электрогенерация» с целью снижения  
потерь с уходящими газами**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА  
ЮУрГУ–13.03.01.2020.036.12 ПЗ ВКР

Консультант по разделу  
«Безопасность жизнедеятельности»,  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ И.П. Палатинская  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Руководитель работы,  
старший преподаватель,  
\_\_\_\_\_ Д.В. Растворов  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Консультант по разделу  
«Экономика и управление»,  
старший преподаватель  
\_\_\_\_\_ Р.А. Алабугина  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор работы,  
студент группы П-480  
\_\_\_\_\_ Е.Е. Моисеев  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Нормоконтролер,  
\_\_\_\_\_ Р.А. Алабугина  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Челябинск 2020

## АННОТАЦИЯ

Моисеев Е.Е. Реконструкция РВП «А» котла ТГМП-114 филиала «Ириклинская ГРЭС» АО «Интер-РАО-Электрогенерация» с целью снижения потерь с уходящими газами. – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, Э; 2020, 80 с., 5 ил., библиогр. список – 49 наим., 1 прил., 5 листов чертежей ф.А1, 2 демонстрационных листа ф.А1

На «Ириклинской ГРЭС», расположенной в п. Энергетик для увеличения эффективности процесса электрогенерации, повышения надежности работы котельного агрегата, уменьшения выбросов вредных веществ в окружающую среду и снижения расхода топлива на котлоагрегате ТГМП-114 было принято решение о реконструкции одного из элементов основного оборудования – набивки регенеративного вращающегося подогревателя.

Целью выпускной квалификационной работы (ВКР) является предложение энергоэффективного вариант реконструкции филиала «Ириклинская ГРЭС» АО «Интер – РАО – Электрогенерация» и его обоснование.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, 10-ти глав, заключения, библиографического списка и приложения. В работе произведен тепловой расчет котельного агрегата до и после реконструкции, поверочный расчёт регенеративного воздухоподогревателя; приведено технико-экономическое обоснование реконструкции элемента энергоблока и рассмотрены вопросы экологии, автоматизации и безопасности жизнедеятельности.

Графическая часть выполнена на листах формата А1 с использованием «AutoCAD 2018», «КОМПАС-3D».

13.03.01.2020.037.12 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Выполнил	Моисеев Е.Е.				Модернизация системы автоматического управления горелочными устройствами котлоагрегата ТГМП-314 филиала «Ириклинская ГРЭС» АО «Интер-РАО-Электрогенерация»	Литера	Лист	Листов
Руковод.	Растворов Д.В.					В	К	Р
						3 80		
Н. Контр.	Алабугина Р.А.					ЮУрГУ Кафедра «Промышленная теплоэнергетика»		
Зав.каф.	Осинцев К.В.							

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ.....	8
2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	10
3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ КОНКУРЕНСПОСОБНЫХ ПОСТАВЩИКОВ НАБИВОК РВП В ЭНЕРГЕТИКЕ .....	12
4 РЕКОНСТРУКЦИЯ КОТЛОАГРЕГАТА ТГМП-114 В ЧАСТИ ЗАМЕНЫ НАБИВКИ РВП «А».....	14
4.1 Тепловой расчет котлоагрегата ТГМП-114.....	16
4.1 Расчёт регенеративного воздухоподогревателя .....	20
4.2 Тепловой расчёт топки .....	24
4.3 Ширма .....	26
4.4 Объем над ширмами .....	30
4.5 Поворотная камера .....	31
4.6 КПП ВД.....	33
4.7 КПП НД-2 .....	35
4.8 КПП НД-1 .....	37
4.9 Водяной экономайзер .....	39
4.10 Уточнение теплового баланса .....	41
5 ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ РВП «А» .....	42
6 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	44
7 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ .....	46
7.1 Мероприятия по охране окружающей среды.....	47
7.2 Расчет концентрации загрязняющего вещества (NO <sub>2</sub> ).....	48
8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	53
8.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	53
8.1.1 Воздух рабочей зоны .....	54
8.1.2 Световая среда .....	55
8.1.3 Нормирование шума и вибрации .....	56
8.1.4 Тяжесть трудового процесса .....	58
8.2 Обеспечение безопасных условий труда.....	58
8.3 Средства индивидуальной защиты .....	60
8.4 Электробезопасность .....	61
8.5 Пожаровзрывобезопасность .....	62
9 АВТОМАТИЗАЦИЯ КОТЛА ТГМП-114 .....	64
10 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ .....	67
10.1 Технико-экономический расчет .....	67
10.1.1 Капитальные затраты на реконструкцию РВП «А» .....	67
10.1.2 Расчет затрат после реконструкции .....	68
10.2 Срок окупаемости проекта.....	69
10.3 SWOT – анализ варианта технического решения.....	70

10.4 Планирование целей предприятия и проекта .....	71
10.5 Планирование сметы текущих затрат .....	73
10.6 График Ганта .....	74
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	79

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Расчёт котлоагрегата ТГМП-114 после реконструкции РВП «А» .....	80
--	----

## ВВЕДЕНИЕ

Интенсивная эксплуатация – основная причина постепенного изнашивания оборудования на теплоэнергетических объектах. Дорогое содержание, устаревшее оборудование и изношенные агрегаты ведут к большим эксплуатационным расходам.

Основные причины того, что фактический КПД станции ниже регламентного, заключаются в устаревшем оборудовании и нарушении дисциплины его ремонтов или недостаточного ремонта. Существуют возможности повышения КПД станции как за счет усовершенствования отдельных элементов оборудования, так и за счет повышения эффективности эксплуатации, а также автоматизации уже имеющегося оборудования.

Также в виду большой потребности в электроэнергии, постоянная работа ТЭЦ при высоких параметрах и значениях нагрузки приводит к значительному загрязнению окружающей среды путём выброса уходящих, дымовых газов. Часто в моменты так называемой «переходной» нагрузки, когда требуется понизить, либо повысить выработку электроэнергии образуется недожог топлива, что в разы увеличивает уровень загрязнений. В результате большая часть этих вредных газообразных выбросов поступает в атмосферу планеты и значительно загрязняет ее.

Для улучшения работы ТЭЦ, снижения выбросов уходящих газов, повышения эффективности оборудования производится реконструкция ТЭЦ с заменой одного из элементов вспомогательного оборудования на более современное и эффективное. Главной задачей реконструкции является повышение уровня энергоэффективности и снижение вреда наносимого окружающей среде. Используя накопленный опыт и применяя новые технологии, можно поднять надежность и эффективность производства электрической энергии на ТЭЦ. За последние годы в России накоплен значительный опыт повышения эффективности работы систем выработки электроэнергии, с использованием новейших технологий, которые нужно максимально применять при реконструкции и строительстве теплоэнергетических предприятий и комплексов.

Регенеративные воздушные подогреватели предназначены для одновременного выполнения двух функций – подогрев подаваемого воздуха и охлаждение отработанных газов. Нагрев воздушной массы увеличивает коэффициент полезного действия котлоагрегата. В свою очередь, основным элементов регенеративного воздухоподогревателя являются теплообменные элементы (или, как их обычно называют, теплообменная набивка), принимающие непосредственное участие в процессе теплопередачи.

По мере вращения нагревательные элементы перемещаются и проходят через поток воздуха, подаваемого в топку. Таким образом, осуществляется нагрев воздушной массы перед попаданием в камеру сгорания. Элементами теплообменника являются металлические пластины, аккумулярованные в отдельные пакеты. При соприкосновении пластины образуют между собой пустоты. Они необходимы для прохождения через них воздуха, продуктов горения и ускорения теплообмена. Как правило, теплообменная набивка устанавлива-

										Лист
										6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2020.036.12 ПЗ

ется в ячейках ротора РВП в виде «корзин», которые устанавливаются в несколько слоев, как правило, есть один «горячий» и два – «холодных» (это зависит от конструкции РВП, число слоев может быть разным). Каждый пакет состоит из каркаса и уложенных в нем металлических профилированных листов.

Заполняющие листы холодного слоя серийно изготавливаемой набивки большинства производителей имеют аэродинамические гладкую прямую поверхность. Дистанционирующие листы, хотя и имеют продольную гофру, также остаются аэродинамические гладкими.

Продольные каналы набивки, образуемые дистанционирующим и заполняющим листами, при сборке их в пакеты образуют параллельные автономные каналы, совпадающие с направлением теплообменивающих сред.

В выпускной квалификационной работе рассматривается реконструкция РВП «А» котельного агрегата ТГМП-114 филиала «Ириклинская ГРЭС» АО «Интер – РАО – Электрогенерация» в части замены набивки на более современную и эффективную.

У РВП приходится периодически заменять нагревательную набивку из-за коррозионного разрушения. Интенсивность износа зависит от содержания серы в сжигаемом топливе, температуры газов и воздуха, поступающих в воздухоподогреватель, величины избытка воздуха в топке и от других факторов. При помощи различных мероприятий можно уменьшить интенсивность износа, но полностью устранить его нельзя.

										Лист
										7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2020.036.12 ПЗ

## 1 ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ

Энергетика в современном мире имеют тенденцию к увеличению единичной мощности блока. Если увеличивается единичная мощность вводимых блоков, то снижаются удельная стоимость установленного кВт электростанции, эксплуатационные расходы, связанные с обслуживанием и ремонтом блока, а также удельный расход топлива. Однако, наряду со снижением расходов, увеличиваются дополнительные затраты, связанные с установкой нового более крупного и не всегда более совершенного оборудования, и постоянным увеличением стоимости топлива.

В данной ВКР рассматривается филиал «Ириклинской ГРЭС» АО «ИнтерРАО-Электрогенерация», введенный в эксплуатацию в 1970 г.

Оборудование, как основное, так и вспомогательное устарело физически и морально, имеет выработку ресурса близкую к критическому. Сроки ввода энергоблоков в эксплуатацию и его техническое состояние:

### **I очередь**

- энергоблоки № 1 и 2 – 1970 год
- энергоблок № 3 – 1971 год
- энергоблок № 4 и 5 – 1972 год
- энергоблок № 6 – 1974 год.

### **II очередь**

- энергоблок № 7 – 1978 год
- энергоблок № 8 – 1979 год.

Для I очереди ГРЭС период эксплуатации в настоящий момент составляет для блоков № 1,2 - 50 лет, для блока №6-46 лет.

Физический износ оборудования, особенно для блоков № 1,2, близок к 100%, часть оборудования устарела и морально настолько, что заводами-изготовителями снята с производства, и может быть заменено только на новое и только с дополнительными затратами на реконструкцию и модернизацию.

Технико-экономические показатели также заметно ухудшаются. Так удельный расход условного топлива на отпущенный кВт. ч. вырос до 330 г., т.е. приблизительно на 10 г., что ведет к увеличению эксплуатационных затрат, в данном случае на топливо.

Таким образом, дальнейшее поддержание в эксплуатации основного и вспомогательного оборудования будет требовать все больших материальных затрат. В связи с чем, в настоящее время возникает вопрос о необходимости реконструкции и техперевооружения ГРЭС, который обязательно будет обостряться при дальнейшей эксплуатации ГРЭС.

Повышение экономичности стационарного оборудования с учетом как технических, так и экономических соображений является на сегодняшний день актуальной задачей. Одним из способов повышения экономичности паротурбинного блока является повышение к.п.д. энергетического парогенератора. Повышение к.п.д. котла обычно достигается уменьшением температуры уходящих газов, то есть эффективным забор тепла уходящих газов.

					13.03.01.2020.036.12 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

Данную задачу решает РВП, а вернее пакет набивки регенеративного вращающегося подогревателя, это большое количество листов определённого металла, который расположен на пути уходящих газов, после выхода из котла. РВП последним использует тепло уходящих газов.

Однако их теплообменная поверхность уже достаточно изношена, и не может принять максимальное количество теплоты уходящих газов, а только лишь часть. Поэтому на сегодняшний день актуальной задачей является замена набивки РВП и дальнейшее поддержание насадки теплообменника в состоянии рабочих, высоких параметров.

Основными теплообменными аппаратами, применяемыми в отечественной и зарубежной энергетике для подогрева дутьевого воздуха, подающего далее на горелочное устройство энергетических котлов, являются регенеративные вращающиеся подогреватели (РВП).

Данный элемент котлоагрегата, как и ряд других элементов испытывает большие температурные перепады и напряжения, как следствие со значительной скоростью теряет свои рабочие свойства и параметры и подлежит замене. Долго работающие РВП имеют низкую эффективность вследствие высокого износа, и обладают уже малыми значениями коэффициентов теплоотдачи как от газов к теплообменной поверхности, так и от поверхности к воздуху, что обуславливает потребность в своевременной замене подобного оборудования.

Кроме того, при работе изношенных вращающихся РВП возникают значительные перетоки воздуха через уплотнения ротора (набивки), что приводит к повышенному расходу дутьевого воздуха и к увеличению затрат электроэнергии на привод дутьевых вентиляторов и дымососов. С целью уменьшения потерь энергии, замена пакетов набивки РВП является актуальной и уместной идеей. Это повысит КПД котла, снизит расход топлива, а значит уменьшит количество выбросов в окружающую среду.



## 2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

В рамках процесса создания выпускной квалификационной работы были использованы нормативные правовые акты Российской Федерации, учебно-методическая литература, а также интернет-ресурсы.

Все главы выпускной квалификационной работы написаны, основываясь на нормативные документы, такие как: Федеральный закон № 190 «О теплоснабжении» СП 131.13330.2012 Строительная климатология, СП 89.13330.2012. Котельные установки и т.д.

Основой данных нормативных правовых актов является выполнение мероприятий, направленных на рациональное использование энергетических ресурсов и внедрение перспективных энергетических технологий.

При написании введения использовались материалы Стратегии развития теплоснабжения и когенерации в Российской Федерации на период до 2020 года.

Рассмотрение вопросов обоснования и актуальности разработки источника теплоснабжения произведено на основе государственной программы Челябинской области «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности» на 2014 – 2020 гг., а также интернет-публикация «В регионе продолжается работа по модернизации и замене неэффективных котельных» на сайте Правительства Челябинской области.

Сравнение отечественных и зарубежных передовых технологий проведено с использованием материалов публикации А. Райтер «Котлы газовые промышленные: производство, устройство, срок эксплуатации».

Тепловой расчет парового котла ТГМП-114 произведен с использованием литературы «Реконструкция промышленных котлов», разработанного Л.Ф. Глущенко, Д.С. Шевцовым, Л.Ф. Лисицким.

При рассмотрении вопросов энергосбережения основным источником информации послужил Федеральный закон РФ № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Также был использован учебник для вузов «Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях» под редакцией А.В. Клименко.

Вопросы экологии рассмотрены с использованием материалов методического пособия «Очистка дымовых газов. Часть 1» А.И. Грибанова. Расчет массовых выбросов загрязняющих веществ (окислов азота) и высоты дымовой трубы проведен по методическому пособию «Расчет дымовой трубы» А.И. Грибанова.

Системы автоматизации котельного агрегата рассмотрены с использованием технической документации на систему автоматики БУК-МП и учебного пособия С.В.Пашнина «Рекомендации по разделу «Автоматический контроль и регулирование» в выпускной квалификационной работе кафедры «Промышленная теплоэнергетика».

Экономическая часть работы выполнена по материалам учебного пособия А.А. Алабугина «Экономико-управленческая часть выпускных квалификационных работ для направления подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника».

										Лист
										10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2020.036.12 ПЗ

При рассмотрении вопросов безопасности жизнедеятельности ключевым нормативно-правовым актом послужил приказ Минтруда России от 17.08.2015 № 551н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок». Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390 «О противопожарном режиме» [4]; ПБ 10-574-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов [13]; ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация [16]; ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования [18]; и другие.

Помимо него был использован ряд других нормативно-правовых актов, а также учебник «Безопасность жизнедеятельности» под редакцией авторов Э.А. Арустамова, А.Е. Волощенко, Г.В. Гуськова и др.

Контрольно-измерительные приборы и система автоматизации котельной рассмотрены с использованием ГОСТ 21.208-2013 «Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах» [10]. Раздел «Вопросы экологии» выполнен в соответствии с Федеральным законом «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ [7]. Экономико-управленческая часть выполнена на основе пособия «Системы организации управления» Аверченкова В.И.



Кварц – Групп – обеспечивает решение всех задач, поставленных перед современными набивками РВП:

1. Понижение уровня присосов на участке КПП-ДС
2. Понижение температуры уходящих газов
3. Снижение потерь тепла с уходящими газами
4. Снижение расхода энергопотребления на собственные нужды.

Вывод: слабое место импортных систем управления, которое следует учитывать при выборе набивки РВП, это необходимость постоянно прибегать к дорогостоящим услугам фирм, занимающихся их внедрением. Опыт по результатам эксплуатации показывает, что для импортных систем достаточно сложно вносить какие-либо усовершенствования.

Из российских систем, получивших в последнее время признание в энергетике, безусловным лидером является Кварц – Групп, на примере которой можно увидеть высокий уровень качества предоставляемого продукта и услуг по монтажу

Кварц – Групп предлагает комплексное проектно-техническое решение по приведению котлоагрегатов в соответствие с современными требованиями промышленной безопасности на объектах газоснабжения, основанное на действующих нормативно-технических документах, которое предполагает реконструкцию РВП с проведением анализа и подробных выводов по работе, а так же гарантийный срок и полное сопровождение в течении года с момента монтажа оборудования, которое полностью соответствует новейшим мировым техническим разработкам и стандартам.

Результатом реконструкции является полная безопасность эксплуатации котлоагрегатов, исключая вероятность "хлопков" и взрывов, минимизация "человеческого фактора" при управлении оборудованием, а также повышение удельной энергоотдачи котлоагрегатов, что заметно снижает себестоимость тепловой и электрической энергии.

										Лист
										13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.036.12 ПЗ					

#### **4 РЕКОНСТРУКЦИЯ КОТЛОАГРЕГАТА ТГМП-114 В ЧАСТИ ЗАМЕНЫ НАБИВКИ РВП «А»**

Котельный агрегат типа ТГМП-114 производства таганрогского завода «Красный котельщик» предназначен для получения пара сверхкритических параметров при сжигании в его топках мазута и природного газа.

Котлоагрегат состоит из двух отдельных корпусов. Все поверхности нагрева размещены в обоих корпусах совершенно одинаково.

Котлоагрегат ТГМП-114 прямооточного типа, имеющий промперегрев, предназначен для работы в блоке с паровой турбиной К-300-240 сверхкритических параметров и мощностью 300МВт.

##### **Топочная камера**

Топочная камера каждого корпуса имеет призматическую форму с габаритами- высота 26440 мм, глубина – 6130 мм, ширина – 10620 мм. Объем топочной камеры – 1720 м<sup>3</sup>.

Лучевоспринимающая поверхность топки – 449,6 м. Стены топочной камеры экранированы подовым экраном, НРЧ, СРЧ, ВРЧ-1, ВРЧ-2, экранами поворотной камеры, потолочным экраном.

Топливо вводится через 6 горелок с трехканальной газовой камерой, разработанных ХФ ЦКБ, расположенный в один ряд на фронтальной и задней стенках. Для регулировки температуры вторичного пара осуществляется рециркуляция дымовых газов, отбираемый за водяным экономайзером, в нижнюю часть топки

##### **Пароводяной тракт**

Имеет 4 самостоятельно регулируемых параллельных потоков. Питательная вода, пройдя узел питания, поступает во сходные камеры ВЭ, которые одновременно являются опорными балками нижних пакетов ВЭ. Пройдя змеевики, ВЭ вода поступает в выходные камеры, к которым подвешиваются пакеты входной части КПП НД. Далее вода 4 трубами поступает во входные коллекторы подвесных труб конвективной шахты. С помощью этих труб Ø32x6 осуществляется крепление КПП ВД и выходных пакетов КПП НД. Затем вода из выходных коллекторов подвесных труб конвективной шахты поступает во входные коллектора подвесных труб ширм. Подвесные трубы ширм Ø38x6 осуществляют крепление самих ширм. Пройдя через них, вода из 8 коллекторов поступает в смесительный горизонтальный коллектор, расположенный над потолочной крышей котла, в котором установлена измерительная шайба.

Из смесительного коллектора 3 перепускными трубами Ø108x14 вода поступает в коллектор подового экрана. Из выходного коллектора подового экрана среда перепускными трубами направляется в коллектор нижнего экрана НРЧ топки. Экраны НРЧ состоят из двух панелей, которые опоясывают горизонтальными лентами половину периметра топки, боковую и заднюю стенки. Змеевики панели имеют 4 подъемных хода и разводки труб под горелки.

После НРЧ среда тремя пропускными трубами направляется в нижний коллектор боковых панелей СРЧ. Среда, пройдя панель СРЧ, поступает в верхний входной коллектор и далее по 3 трубкам попадает в общий смесительный коллектор.

									Лист
									14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.036.12 ПЗ				

Из вертикального смесительного коллектора среда по 4 трубкам поступает в нижний входной коллектор бокового экрана панелей ВРЧ, которая разделена на 2 потока.

Трубы НРЧ и СРЧ опоясывают половину периметра, благодаря чему тепловые перекосы по ширине топки не могут повлиять на неравномерность в тепловом восприятии параллельно включенных труб. Вся радиационная часть котла изготовлена из труб Ø38x6 и стали 1241МФ.

Панели ВРЧ 1 состоят из трехходовых змеевиков, а ВРЧ 2 из семиходовых.

Раздача среды из смесительных коллекторов во входные камеры ВРЧ 2, ВРЧ 2 выполнена конструктивно в виде «паука». После ВРЧ рабочая среда проходит во входной коллектор верхней части фронтального экрана, расположенного в районе ШПП, из которого без промежуточных коллекторов переходит в потолочный пароперегреватель. Фронтальной и потолочный экран выполнены из труб Ø32x6. Далее пар из выходного коллектора Ø273x36 4 перепускными трубками направляется в экраны поворотной камеры представляющие собой горизонтальные, параллельно включенные панели, выполненные из труб Ø38x6. Пройдя экраны поворотной камеры, пар 4 трубами поступает в коллекторы первого впрыскивающего пароохладителя, перед которым на паропроводах установлены встроенные задвижки. После впрыскивающего пароохладителя пар 6 трубами Ø159x18 поступает во входные ширмы расположенные в средней части газохода (6 шт.), а затем в смесительный коллектор и из него в выходные ширмы (6 шт.), расположенные по краям газохода. Движение пара по ширмам подъемное. Далее пар направляется во входную камеру КПП ВД., где установлен второй впрыскивающий пароохладитель. КПП ВД разбит по тепловосприятию на 2 части, хотя конструктивно выполнены в одном пакете. Крепление этих двух пакетов осуществляется на подвесных трубах Ø32x6, охлаждаемых водой после ВЭ. Пройдя пакеты КПП ВД, подается к ЦВД с давлением пара 40,5атм, после чего направляется сначала в КПП НД 1, а далее в КПП НД 2 и, наконец, в ЦСД.

### **Каркас котла**

Изготовлен Днепропетровским заводом металлопродукции им. Бабушкина. Каркас котла представляет жесткую конструкцию не связанную с каркасом здания и несущую нагрузку только элементов котла, трубопроводов в его пределах, а также воздухопроводов и газоходов, укрепленных и подвешенных к металлоконструкциям каркаса и площадок обслуживания. Пространственная жесткость каркаса обеспечивается установкой вертикальных связей по всем наружным стенам. Горизонтальные связи в виде плоских горизонтальных ферм по отметкам. Материал – мертеповская сталь «В». Общий вес котла 4200 тонн.

Обмуровка котла щитовая, набранная из щитов изготовленных из металлических рам и нескольких слоев огнеупорных и изолирующих плит (огнеупорный бетон, вермикулитовые плиты, совелитовые плиты).

										Лист
										15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.036.12 ПЗ					



В таблице 4.2 представим данные по объёму продуктов сгорания.

Таблица 4.2 – Объёмы продуктов сгорания по газоходу

	Топка и ширмы	КПП-ВД	КПП-НД-2	КПП-НД-1	В.Э.	РВП
$\alpha_{cp}$	1,03	1,06	1,105	1,135	1,16	1,37
$V_{H_2O}^0$	2,135	2,139	2,146	2,151	2,154	2,171
$V_z$	10,878	11,166	11,597	11,885	12,125	13,180
$r_{RO_2}$	0,091	0,089	0,085	0,083	0,082	0,075
$r_{H_2O}$	0,196	0,192	0,185	0,181	0,178	0,165
$r_n$	0,287	0,281	0,270	0,264	0,260	0,240

В таблице 4.3 представим энтальпии продуктов сгорания

Таблица 4.3 – Энтальпии продуктов сгорания

$t, ^\circ C$	$I_e^0$	$I_z^0$	$\alpha_m=1,03$		$\alpha_w=1,06$		$\alpha_{KПП-2}=1,105$	
			$I$	$\Delta I$	$I$	$\Delta I$	$I$	$\Delta I$
100	349	299	357,9	365,1	366,9	374,2	380,4	387,8
200	705	602	723,1	379,3	741,1	388,5	768,2	402,5
300	1075	911	1102,3	380,3	1129,7	389,6	1170,7	403,6
400	1446	1221	1482,6	398,8	1519,3	408,5	1574,2	423,1
500	1835	1546	1881,4	399,7	1927,8	409,4	1997,3	424,0
600	2225	1870	2281,1	419,1	2337,2	429,2	2421,4	444,4
700	2634	2207	2700,2	418,1	2766,4	428,2	2865,7	443,4
800	3042	2544	3118,3	436,4	3194,6	446,9	3309,1	462,5
900	3468	2892	3554,8	436,4	3641,5	446,9	3771,7	462,5
1000	3894	3240	3991,2	447,7	4088,4	458,4	4234,2	474,4
1100	4331	3596	4438,9	447,7	4546,8	458,4	4708,6	474,4
1200	4768	3952	4886,6	440,9	5005,1	451,8	5182,9	468,1
1300	5198	4315	5327,5	439,9	5456,9	450,8	5651,1	467,1
1400	5627	4678	5767,3	480,1	5907,7	491,1	6118,2	507,6
1500	6096	5046	6247,3	479,0	6398,7	490,0	6625,8	506,6
1600	6564	5414	6726,4	476,1	6888,8	487,2	7132,4	503,9
1700	7029	5785	7202,5	476,1	7376,1	487,2	7636,4	503,9
1800	7494	6156	7678,6	480,2	7863,3	491,5	8140,3	508,4
1900	7963	6532	8158,9	480,2	8354,9	491,5	8648,8	508,4
2000	8432	6908	8639,2	485,3	8846,4	496,7	9157,3	513,7
2100	8906	7287	9124,6	485,3	9343,2	496,6	9671,1	513,6
2200	9308	7665	9609,9	-	9839,9	-	10184,8	-
2300	349	299	357,9	365,1	366,9	374,2	380,4	387,8
2400	705	602	723,1	379,3	741,1	388,5	768,2	402,5



Окончание таблицы 4.3

$t, ^\circ\text{C}$	$I_6^0$	$I_2^0$	$\alpha_{кшп-1} = 1,135$		$\alpha_3 = 1,16$		$\alpha_{пвп} = 1,37$	
			$I$	$\Delta I$	$I$	$\Delta I$	$I$	$\Delta I$
100	349	299	389,4	396,9	396,84	404,5	459,6	468,1
200	705	602	786,3	411,7	801,32	419,4	927,7	484,3
300	1075	911	1197,9	412,9	1220,76	420,6	1412,0	485,7
400	1446	1221	1610,8	432,9	1641,36	441	1897,7	509,2
500	1835	1546	2043,7	433,7	2082,36	441,8	2407,0	509,8
600	2225	1870	2477,5	454,5	2524,2	462,9	2916,9	533,6
700	2634	2207	2931,9	453,5	2987,12	461,9	3450,5	532,6
800	3042	2544	3385,4	472,9	3449,04	481,7	3983,2	554,7
900	3468	2892	3858,4	472,9	3930,72	481,7	4538,0	554,7
1000	3894	3240	4331,4	485,1	4412,4	493,9	5092,8	568,7
1100	4331	3596	4816,5	485,1	4906,36	493,9	5661,5	568,7
1200	4768	3952	5301,5	479,1	5400,32	488,1	6230,2	564,3
1300	5198	4315	5780,5	478,1	5888,4	487,1	6794,5	563,3
1400	5627	4678	6258,5	518,68	6375,48	527,8	7357,8	605,1
1500	6096	5046	6777,21	517,6	6903,3	526,8	7963,0	602
1600	6564	5414	7294,9	515,0	7430,2	524,3	8567,1	600
1700	7029	5785	7809,9	515,0	7954,6	524,3	9169,4	600
1800	7494	6156	8325,1	519,7	8478,9	529,1	9771,7	606
1900	7963	6532	8844,8	519,7	9008,1	529,1	10379,4	606
2000	8432	6908	9364,5	525,1	9537,2	534,6	10987,9	612
2100	8906	7287	9889,7	525,0	10071,9	534,4	11602,1	612
2200	9308	7665	10414,7	-	10606,4	-	12216,0	-
2300	349	299	389,4	396,9	396,84	404,5	459,6	468,1
2400	705	602	786,3	411,7	801,32	419,4	927,7	484,3

Выполним тепловой расчет котельного агрегата поэтапно, начиная с самого котла.

В таблице 4.4 показан расчет котла ТГМП-114, его конструктивные характеристики и особенности

Таблица 4.4 – Расчет котельного агрегата

Рассчитываемые величины	Обозначения	Размерность	Формула или обоснование	Расчетные данные
1	2	3	4	5
Располагаемая теплота топлива	$Q_p^H$	ккал/кг	$Q_p^H$	8500
Температура уходящих газов	$\nu_{х.в}^0$	$^\circ\text{C}$	Задана	115

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4	5
Энтальпия уходящих газов	$I_{yx}$	ккал/кг	По таблице Ривкина [30]	529,8
Температура холодного воздуха	$t_{x.в}$	°C	Задана	30
Энтальпия холодного воздуха	$I_{x.в}^0$	ккал/кг	По таблице Ривкина [30]	89,7
Потери теплоты:	-	-	-	-
– от химического недожога	$q_3$	%	По таблице 22.	0,5
– с уходящими газами	$q_4$	%	$\frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} \Delta I_{x.в}^0)(100 - q_4)}{Q_p^p}$	4,76
– в окружающую среду	$q_5$	%	По рис. 1	0,1
Сумма тепловых потерь	$\sum q$	%	$q_2 + q_3 + q_4$	5,36
КПД котельного агрегата	$\eta_{к.а}$	%	$1 - \sum q$	94,64
Расход первичного пара	$D$	т/ч	Задано	950
Давление перегретого пара за КА	$P$	кгс/см <sup>2</sup>	Задано	255
Давление перегретого пара за КА	$P$	кгс/см <sup>2</sup>	Задано	255
Температура перегретого пара за КА	$t_{n.n}$	°C	Задано	545
Энтальпия перегретого пара	$I_{n.n}$	ккал/кг	По свойствам воды и водяного пара [30]	791,9
Давление питательной воды	$P_{п.в.}$	кгс/см <sup>2</sup>	Задано	56
Энтальпия питательной воды	$I_{п.в.}$	ккал/кг	По таблице свойств воды и водяного пара [30]	265,5
Расход вторичного пара на входе в КА	$D_{в.т.}$	т/ч	Задано	720
Давление вторичного пара на входе в КА	$P'_{в.т.}$	МПа	Задано	39
Температура вторичного пара на входе в КА	$t_{в.т.}$	°C	Задано	310

Окончание таблицы 4.4

1	2	3	4	5
Энтальпия вторичного пара на входе в КА	$i'_{вт}$	ккал/нм <sup>3</sup>	По таблице свойств воды и водяного пара [30]	715
Давление вторичного пара на входе в КА	$P''_{в.т}$	МПа	Задано	37
Температура вторичного пара на входе в КА	$t''_{вт}$	°С	Задана	545
Энтальпия вторичного пара на входе в КА	$i''_{вт}$	ккал/нм <sup>3</sup>	По таблице свойств воды и водяного пара [30]	848
Теплота, полезно используемая в КА	$Q_{к.а}$	ккал/ч	$D(i''_{нн} - i''_{нв}) + D_{вм}(i''_{вм} - i'_{вм})$	606368
Полный расход топлива	$B$	нм <sup>3</sup>	$(Q_{ка} \cdot 100) / (Q_p^p \cdot \eta_{ка})$	75377,7
Коэффициент сохранения тепла	$\varphi$	-	$1 - q_5 / (\eta_{ка} + q_5)$	0,999

#### 4.1 Расчёт регенеративного воздухоподогревателя

В таблице 4.5 представим данные по тепловому расчету РВП и его конструктивные характеристики.

Таблица 4.5 – Тепловой расчет РВП

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или данные чертежей
1	2	3	4	5
Диаметр ротора	$D_{вн}$	мм	По конструктивным данным	6800
Количество воздухоподогревателей на котел	$n$	шт.	По конструктивным данным	4
Количество секторов	$n$	шт.	По конструктивным данным	24 (9 воздушных, 13 газовых, 2 отдельных)
Доли поверхности, омываемой газами	$x_2$	-	По конструктивным данным	$13/24=0,542$
Доли поверхности, омываемой воздухом	$x_8$	-	По конструктивным данным	$9/24=0,375$

Продолжение таблицы 4.5

1	2	3	4	5
Количество секторов	$n$	шт.	По конструктивным данным	24 ( 9 воздушных, 13 газовых, 2 раздельных)
Доли поверхности, омываемой газами	$x_2$	-	По конструктивным данным	13/24=0,542
Доли поверхности, омываемой воздухом	$x_6$	-	По конструктивным данным	9/24=0,375
Холодная часть				
Эквивалентный диаметр набивки	$d_3$	мм	По конструктивным данным	9,8
Живое сечение для прохода газов	$F_{\Gamma}$	м <sup>2</sup>	$0,785 \cdot D_{\text{вн}}^2 \cdot x_2 \cdot K_p \cdot K_l \cdot n$	59,45
Живое сечение для проходов воздуха	$F_{\text{В}}$	м <sup>2</sup>	$0,785 \cdot D_{\text{вн}}^2 \cdot x_6 \cdot K_p \cdot K_l \cdot n$	41,16
Высота набивки	$h_x$	м	По конструктивным данным	0,71
Поверхность нагрева	$H_x$	м <sup>2</sup>	$0,95 \cdot 0,785 \cdot D_{\text{вн}}^2 \cdot K_p \cdot C \cdot h \cdot n$	$2,9 \cdot 10^4$
Температура воздуха на входе	$t_{x6}$	°C	Задана	30
Энтальпия воздуха на входе	$I_{x6}^0$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-9 таблице	89,7
Отношение расходов воздуха на выходе из холодной	$\beta''_{xч}$	-	$\alpha_m + 0,5 \cdot \alpha_{\text{вн}}$	1,15
Присос воздуха	$\Delta\alpha_{xч}$	-	По табл.	0,2
Температура воздуха на выходе (промежуточная)	$t''_{np}$	°C	принимается	109
Энтальпия воздуха на выходе	$I_{np}^0$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-9 таблице	326,3
Тепловосприятие ступени (по балансу)	$Q_{xч}^{\bar{}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$(\beta''_{xч} + \alpha_{xч}/2)(I_{np}^0 - I_{x6}^0)$	295,75
Температура газов на выходе	$\vartheta''_{yx}$	°C	Задана	115
Энтальпия газов на выходе	$I''_{yx}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-9 таблице	529,8
Энтальпия газов на входе	$I'_{yx}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$I''_{yx} + \frac{Q_{xч}^{\bar{}}}{\varphi} - \Delta\alpha_{\text{вн}} I_{x6}^0$	843,8

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

13.03.01.2020.036.12 ПЗ

Лист

21

Продолжение таблицы 4.5

1	2	3	4	5
Температура газов на входе	$\vartheta'_{хч}$	°C	По I-9 таблице	181
Средняя температура газов	$\vartheta_{cp}$	°C	$(\vartheta' - \vartheta_{yx}) / 2$	148
Средняя температура воздуха	$t_{cp}$	°C	$(t_{xв} - t''_{np}) / 2$	69,5
Средний температурный напор	$\Delta t$	°C	$\vartheta_{cp} - t_{cp}$	78,5
Средняя температура стенки	$t_{ст}^{cp}$	°C	$\frac{(x_2 \vartheta_{cp} + x_6 t_{cp})}{(x_2 + x_6)}$	116
Средняя скорость газов	$\omega_2$	м/с	$\frac{B_p \cdot V_{зcp} \cdot (\vartheta_{cp} + 273)}{F_2 \cdot 3600 \cdot 273}$	7,1
Средняя скорость воздуха	$\omega_6$	м/с	$\frac{B_p V^0 \left( \beta'_{xч} + \frac{\Delta \alpha_{xч}}{2} \right) (t_{cp} + 273)}{F_6 \cdot 3600 \cdot 273}$	9,9
Коэффициент теплоотдачи от газа к стенке	$\alpha_2$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	$C_n C_\phi C_1 \alpha_n$	$0,9 \cdot 1,23 \cdot 1 \times 35,3 = 39,1$
Коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху	$\alpha_6$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	$C_n C_\phi "C_1 \alpha_n"$	$0,9 \cdot 1,13 \cdot 1 \times 44 = 44,7$
Коэффициент использования	$\zeta$	-	Принято	0,85
Коэффициент теплопередачи	$k$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	$\zeta / (1/(x_2 \cdot \alpha_2) + 1/(x_6 \cdot \alpha_6))$	9,4
Тепловосприятие горячей части	$Q_{хч}^m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{kH\Delta t}{B}$	283,8
Отношение тепловосприятий	$\frac{Q_{хч}^m}{Q_{хч}^6}$	%	$\frac{Q_{хч}^m}{Q_{хч}^6} \cdot 100$	$\frac{283,8}{295,8} \cdot 100 = 96$
<b>Горячая часть</b>				
Эквивалентный диаметр интенсифицированной набивки	$d_3$	мм	По конструктивным данным	9,6
Живое сечение для прохода газов	$F_2$	м <sup>2</sup>	$0,785 \cdot D_{вн}^2 \cdot x_2 \cdot K_p \cdot K_\lambda \cdot n$	58,3
Живое сечение для прохода воздуха	$F_6$	м <sup>2</sup>	$0,785 \cdot D_{вн}^2 \cdot x_2 \cdot K_p \cdot K_\lambda \cdot n$	40,35
Высота набивки	$h_x$	м	По конструктивным данным	1,31

Продолжение таблицы 4.5

1	2	3	4	5
Поверхность нагрева	$H_x$	м <sup>2</sup>	$0,95 \cdot 0,785 \cdot D_{вн}^2 \cdot K_p \cdot C \cdot h \cdot n$	53422
Температура воздуха на входе	$t_{xв}$	°C	Из расчета холодной части	109
Энтальпия воздуха на входе	$I_{xв}^0$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-9 таблице	326,3
Отношение расходов воздуха на выходе	$\beta''_{зч}$	-	$\beta''_{зч} = \beta''_{хч}$	1,15
Температура воздуха на выходе	$t''_{зч}$	°C	Принимаем	280
Энтальпия воздуха на выходе	$I''_{зч}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-9 таблице	849,2
Тепловосприятие ступени (по балансу)	$Q_{зч}^{\delta}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\left( \beta''_{хч} + \frac{\Delta \alpha_{зч}}{2} \right) \cdot (I''_{зч} - I_{np}^0)$	653,6
Температура газов на выходе	$\vartheta'_{хч}$	°C	Из расчета холодной части	181
Энтальпия газов на выходе	$I'_{yx}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета холодной части	843,8
Энтальпия газов на входе	$I'_{зч}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$I'_{yx} + \frac{Q_{зч}^{\delta}}{\varphi} - \Delta \alpha_{зч} \cdot I_{np}^0$	1643,9
Температура газов на входе	$\vartheta'_{зч}$	°C	По I-9 таблице	347,6
Средняя температура газов	$\vartheta'_{зч}^{cp}$	°C	$(\vartheta' + \vartheta'_{yx}) / 2$	264,3
Средняя температура воздуха	$t''_{зч}^{cp}$	°C	$(t''_{зч} + t''_{np}) / 2$	195
Разница температур сред	$\Delta t_{\delta}$	°C	$\vartheta'_{хч} - t_{xв}$	72
Разница температур сред	$\Delta t_m$	°C	$\vartheta'_{зч} - t''_{зч}$	67,6
Средний температурный напор	$\Delta t$	°C	$\frac{(\Delta t_{\delta} - \Delta t_m)}{\left( 2,3 \cdot \lg \left( \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m} \right) \right)}$	69
Средняя температура стенки	$t_{ст}^{cp}$	°C	$\frac{(x_2 \vartheta'_{cp} + x_6 t_{cp})}{(x_2 + x_6)}$	235,8
Средняя скорость газов	$\omega_2^{cp}$	м/с	$\frac{B_p \cdot V_{зч} \cdot (\vartheta'_{cp} + 273)}{F_2 \cdot 3600 \cdot 273}$	9,27

Окончание таблицы 4.5

1	2	3	4	5
Средняя скорость воздуха	$\omega_{ср}$	м/с	$\frac{B_p \cdot V^{\circ} \left( \beta_{xy}'' + \frac{\Delta \alpha_{xy}}{2} \right) (t_{ср} + 273)}{F_2 \cdot 3600 \cdot 273}$	9,7
Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	$\alpha_2$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}$	$C_n \cdot C_{\phi} \cdot C_l \cdot \alpha_n$	$1,6 \cdot 1,095 \times 1 \cdot 40 = 70,1$
Коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху	$\alpha_6$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}$	$C_n \cdot C_{\phi} \cdot C_l \cdot \alpha_n$	$1,6 \cdot 0,98 \cdot 1 \times 44 = 68,9$
Коэффициент использования	$\xi$	-	Принимаем	0,85
Коэффициент теплопередачи	$k$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}$	$\frac{\xi}{\frac{1}{(x_2 \cdot \alpha_2)} + \frac{1}{(x_2 \cdot \alpha_2)}}$	15,37
Тепловосприятие горячей части (по уравнению теплопередачи)	$Q_{гч}^m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{kH\Delta t}{B}$	643
Отношение тепловосприятий	$\frac{Q_{гч}^m}{Q_{гч}^{\delta}}$	%	$\frac{Q_{гч}^m}{Q_{гч}^{\delta}} \cdot 100$	98,4

## 4.2 Тепловой расчёт топки

В таблице 4.6 приведём расчёт топочной камеры.

Таблица 4.6 – Расчёт топочной камеры

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Итог
1	2	3	4	5
Объемы топки	$V_m$	м <sup>3</sup>	По конструктивным данным	3440
Поверхность стен	$F_{ст}$	м <sup>2</sup>	По конструктивным данным	2028
Лучистая поверхность	$H_l$	м <sup>2</sup>	По конструктивным данным	1992
Температура в отборе	$t_{отб}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	из расчета ВП	347,6
Энтальпия в отборе	$I_{отб}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I – 9 таблице	1643,9

Продолжение таблицы 4.6

1	2	3	4	5
Теплота рециркуляции и газов	$Q_{рец}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$r \cdot I_{омб}$	164,39
Тепло, вносимое в топку с воздухом	$Q_в$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$(\alpha_m - \Delta\alpha_m) \cdot I_{зв} + \Delta\alpha_m \cdot I_{хв}^0$	874
Полезное тепло, выделяемое в топочной камере	$Q_m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{Q_p^p \cdot (100 - q_3 - q_4 - q_6)}{(100 - q_4) + Q_в}$	9331,5
Теоретическая температура	$\vartheta_a$	°C	По I – 9 таблице	2142,5
Температура газов на выходе	$\vartheta_m''$	°C	Принимаем	1300
Энтальпия газов на выходе	$I_m''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I – 9 таблице	5682,5
Эффективная толщина излучающего слоя	$S$	м	$3,6 \frac{V_m}{F_m}$	6,1
Произведение	$p_n s$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	$\rho \cdot r_n \cdot s$	1,73
Коэффициент ослабления лучей $\text{RO}_2$	$K_2$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	Номограмма 2	0,24
Оптическая толщина	$kps$	-	$K_r \cdot p_n s$	0,41
Степень черноты факела	$a_2$	-	Номограмма 17	0,34
Коэффициент тепловой эффективности гладкотрубных экранов	$\Psi_{экр}$	-	По таблице	0,65
Степень черноты топочной камеры	$a_m$	-	$\frac{a_\phi}{(a_\phi + (1 - a_\phi) g \Psi_{экр}}$	0,44
Относительное максимальное положение температур по высоте факела	$X_m$	-	$\frac{h_2}{H_m}$	0,146
Коэффициент, учитывающий относительное положение ядра факела	$M$	-	$0,54 - 0,2 \cdot X_m$	0,5
Средняя суммарная теплоемкость	$Vc_{ср}$	-	$\frac{Q_m - I_m''}{\vartheta_a - \vartheta_m''}$	4,33
Энтальпия газов на выходе из топочной камеры	$I_m''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I – 9 таблице	5299
Тепловосприятие в топке	$Q_l^m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\varphi \cdot (Q_m - I_m'')$	4028,5



Окончание таблицы 4.6

1	2	3	4	5
Температура газов на выходе из топочной камеры	$\vartheta_m''$	°C	$\frac{(\vartheta_a + 273)}{M \cdot \frac{4,19 \cdot 10^{-8} \cdot \Psi_{\text{экп}} \cdot F_{\text{см}} \cdot a_m \cdot (\vartheta_a + 273)^3}{(\varphi \cdot B_p \cdot V_{\text{ср}})^{0,6} + 1}}$	1265
Энтальпия газов на выходе из топочной камеры	$I_m''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I – 9 таблице	5299
Средняя тепловая нагрузка лучевоспринимающей поверхности нагрева	$q_l$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$	$\frac{B \cdot Q_l^m}{H_l}$	152437,8
Теплонапряжение топочного объема	$q_v$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{ч}}$	$\frac{B \cdot Q_n^p}{V_m}$	186251,3

### 4.3 Ширма

В таблице 4.7 представим расчёт ширмы

Таблица 4.7 – Тепловой расчёт ширмы

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Итог
1	2	3	4	5
Диаметр и толщина труб	$\frac{d_n}{d_{\text{см}}}$	мм	По конструктивным данным	32/6
Эффективная толщина газового слоя	$s$	м	По конструктивным данным	0,973
Поверхность нагрева ширм	$H_{\text{ул}}$	м <sup>2</sup>	По конструктивным данным	1443
Эквивалентный диаметр	$d_{\text{экв}}$	мм	По конструктивным данным	1,38
Лучевоспринимающая поверхность входного сечения	$H_{\text{вх}}$	м <sup>2</sup>	По конструктивным данным	435,2
Сечение для прохода газового поперечного, продольного омывания	$F_{\Gamma}$	м <sup>2</sup>	По конструктивным данным	150
Температура газов перед ширмами	$\vartheta'$	°C	Из расчета топки	1265

Продолжение таблицы 4.7

1	2	3	4	5
Энтальпия газов перед ширмами	$I'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I – 9 таблице	5172,6
Температура газов на выходе из ширм	$\vartheta''$	$^{\circ}\text{C}$	Принимаем	1000
Энтальпия газов на выходе из ширм	$I''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I – 9 таблице	3991,2
Тепловосприятие в ширмах и дополнительных поверхностях по балансу	$Q_6$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\varphi(I' - I'')$	1180
Коэффициент теплообмена ширм с топкой	$\beta$	-	По рис. 6-4	0,45
Коэффициент распределения тепловой нагрузки по высоте топки	$\eta_6$	-	По рис. 13 из нормативного метода [32]	0,6
Тепловое напряжение поверхностей нагрева ширм	$q_{\text{л.ш}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$	$\beta \cdot \eta_6 \cdot q_n$	41158,2
Лучистое тепло, воспринятое плоскостью входного сечения ширм	$Q_{\text{л.вх}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$	$\frac{q_{\text{л.ш}} \cdot H_{\text{вх}}}{B}$	$41158,2 \times$ $\times 435,2:$ $: 75377 =$ $= 237$
Поправочный коэффициент для учета излучения ширм на экраны за ширмами	$\xi_n$	-	Из нормативного метода [32]	0,7
Угловой коэффициент с входного на выходное сечение ширм	$\varphi_{\text{ш}}$	-	$\frac{\left( \left( \frac{l}{S_1} \right)^2 + l \right)^{0.5}}{S_1}$	0,1
Средняя температура газов	$\vartheta_{\text{ср}}$	$^{\circ}\text{C}$	$\frac{\vartheta' + \vartheta''}{2}$	1132,5
Коэффициент ослабления лучей $\text{RO}_2$	$K_2$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	Номограмма 2 [32]	1,1
Произведение	$\rho_n s$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	$\rho \cdot r_n \cdot s$	0,3
Оптическая толщина	$kps$	-	$K_2 \cdot \rho \cdot r_n \cdot s$	0,32
Степень черноты газов	$a_2$	-	Номограмма 17 [32]	0,3
Лучевоспринимающая поверхность нагрева пучка,	$\Psi_{\text{экр}}$	-	По конструктивным данным	345,2

Окончание таблицы 4.7

1	2	3	4	5
Теплота излучения из топки и ширм на поверхность за ширмами	$Q_{л.вых}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{(Q_{л.вх} \cdot (1-\alpha) \varphi_{ш})}{\beta} + \frac{(1,9 \cdot 10^{-8} \cdot \alpha \cdot H_{вых} T_{ср}^4 \cdot \xi_n)}{B_p}$	77,5
Теплота, полученная из топки ширмами и доп. поверхностями	$Q_{л.ш} + доп$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$Q_{л.вх} - Q_{л.вых}$	160,1
Лучевоспринимающая поверхность ширм	$H_{л.ш.}$	$\text{м}^2$	По конструктивным данным	400,25
Дополнительная лучевоспринимающая поверхность	$H_{л.доп}$	$\text{м}^2$	По конструктивным данным	34,95
Количество тепла, полученного из топки ширмами	$Q_{л.ш}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{Q_{л.ш+доп} \cdot H_{л.ш}}{H_{л.ш} + H_{л.доп}}$	147,2
Собственные ширмы	$Q_{б.ш}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Принимаем	980
Дополнительных поверхностей	$Q_{б.доп}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Принимаем	84
Расход воды на впрыск	$D_{впр1}$	т/ч	Задано	10
Температура пара перед первым впрыском	$t'_{впр1}$	$^{\circ}\text{C}$	Принимаем	410
Энтальпия	$i'_{впр1}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По таблице свойств воды и водяного пара [30]	618,5
Снижение энтальпии пара после первого впрыска	$\Delta i'_{впр1}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{D_{впр1} (i'_{впр1} - i''_{нн})}{D_{нн} - D_{впр1}}$	3,81
Энтальпия после первого впрыска	$i' = i''_{впр1}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$i'_{впр1} - i'_{впр1}$	614,7
Температура на входе ширмы (после первого впрыска)	$t' = t''_{впр1}$	$^{\circ}\text{C}$	По таблице свойств воды и водяного пара [30]	409
Прирост энтальпии пара в ширмах	$\Delta i$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{(Q_{б.ш} + Q_{л.ш}) B_p}{(D_{нн} - D_{впр1}) g 1000}$	90,4
Энтальпия пара после ширм	$i''_{ш}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$i' + \Delta i$	705,1
Температура пара после ширм	$t''_{ш}$	$^{\circ}\text{C}$	По таблице свойств воды и водяного пара [30]	462,4

Окончание таблицы 4.7

1	2	3	4	5
Средняя температура пара	$t_{cp}$	$^{\circ}C$	$\frac{t'+t''_{ui}}{2}$	435,7
Температурный напор	$\Delta t$	$^{\circ}C$	$g_{cp} - t_{cp}$	699,8
Средняя скорость газов	$\omega_r$	м/с	$\frac{B_p \cdot V_z \cdot (g_{cp} + 273)}{3600 \cdot 273 \cdot F_z}$	3,1
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$a_k$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}C}$	По номограмме 13-2 [32]	16
Коэффициент использования	$\xi$	-	Принимаем	0,85
Коэффициент теплоотдачи излучением	$a_l$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}C}$	По номограмме 18 [32]	250
Коэффициент теплопередачи от газов к стенке	$a_1$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}C}$	$\xi \cdot \frac{a_k \cdot \pi \cdot d}{(2 \cdot S_2 \cdot x)} + a_l$	70,3
Коэффициент теплопередачи	$K$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}C}$	$\frac{a_1}{(1 + \left(1 + \frac{Q_{l.u}}{Q_{o.u}}\right) \cdot \varepsilon \cdot a_1)}$	70,2
Тепловосприятие (по уравнению теплопередачи)	$Q_{m.u}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$(K \cdot H_{ul} \cdot \Delta t) / B_p$	945,2
Отношение тепловосприятий	$\frac{Q_{m.u}}{Q_{o.u}}$	%	$\left(\frac{Q_{m.u}}{Q_{o.u}}\right) 100$	96,4
Средняя температура пара в доп. поверхностях	$t$	$^{\circ}C$	Принимаем	400
Тепловосприятие доп. Поверхностей по уравнению теплопередачи	$Q_{m.don}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{K \cdot H_{don1} \cdot (g_{cp} - t)}{B_p}$	92,3
Отношение тепловосприятий	$\frac{Q_{m.don}}{Q_{o.don}}$	%	$\left(\frac{Q_{m.don}}{Q_{o.don}}\right) 100$	84/86,3 × × 100 = = 97,3

Мы рассчитали топочную камеры, регенеративный воздухоподогреватель и ширмы, далее нам необходимо произвести расчет объёма над ширмами.

#### 4.4 Объем над ширмами

В таблице 4.8 представим расчёт объёма над ширмами.

Таблица 4.8 – Тепловой расчёт объёма над ширмами

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Итог
1	2	3	4	5
Поверхность стен	$F_{cm}$	м <sup>2</sup>	По конструктивным данным	460
Объем над ширмами	$V$	м <sup>3</sup>	По конструктивным данным	286,4
Эффективная толщина излучающего слоя	$s$	м	$\frac{3,6 \cdot V_m}{F_{cm}}$	$3,6 \cdot 286,4 / 460 = 2,241$
Температура газов за ширмами	$\vartheta'$	°C	Из расчета ширм	1000
Энтальпия	$I'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета ширм	3991,2
Температура газов за объемом над ширмами	$\vartheta''$	°C	Принимаем	955
Энтальпия	$I''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I – $\vartheta$ таблице	3794,8
Произведение	$p_n s$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	$\rho \cdot r_n \cdot s$	0,592
Оптическая толщина	$kps$	-	$K_z \cdot p_n s$	0,325
Степень черноты газов	$a_r$	-	Номограмма 17 [32]	0,29
Количество тепловосприятия объема по балансу	$Q_6$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\varphi \cdot (I' - I'')$	196,3
Температура пара за объемом над ширмами	$t''_{об}$	°C	Принимаем	400
Энтальпия	$I''_{об}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I – $\vartheta$ таблице	574,2
Прирост энтальпии	$\Delta i$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{(Q_6 + Q_{л.вых}) \cdot B_p}{(D_{ин} - D_{впр1}) \cdot 1000}$	22,9

## Окончание таблицы 4.8

1	2	3	4	5
Энтальпия пара на входе в фронтной потолочный экран	$i_{об}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$I''_{об} + \Delta i$	597,1
Температура пара на входе в фронтной потолочный экран	$t_{об}$	$^{\circ}\text{C}$	По таблице свойств воды и водяного пара	405,4
Средняя температура пара	$t_{cp}$	$^{\circ}\text{C}$	$\frac{t' - t''}{2}$	402,7
Температурный напор	$\Delta t$	$^{\circ}\text{C}$	$\vartheta - t$	575
Температура наружной поверхности загрязнений	$t_3$	$^{\circ}\text{C}$	$t_{cp} + 25$	427,7
Коэффициент теплоотдачи излучением	$a_l$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	Номограмма 18 [32]	205
Коэффициент теплопередачи	$K$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	По таблице	85,1
Тепловосприятие по уравнению теплопередачи	$Q_T$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{K \cdot H \cdot (\vartheta - t)}{B_p}$	194,8
Отношение тепловосприятий	$\frac{Q_T}{Q_B}$	%	$\left( \frac{Q_T}{Q_B} \right) \cdot 100$	194,8/196,3=99,2

**4.5 Поворотная камера**

Расчёт поворотной камеры произведем в таблице 4.9

Таблица 4.9 Тепловой расчёт поворотной камеры

Расчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Итог
1	2	3	4	5
Поверхность стен	$F_{ст}$	$\text{м}^2$	По конструктивным данным	608
Объем поворотной камеры	$V$	$\text{м}^3$	По конструктивным данным	1322,6
Поверхность подвесных труб	$H_{под}$	$\text{м}^2$	По конструктивным данным	159,5
Поверхность нагрева экранов поворотной камеры	$H_{экp}$	$\text{м}^2$	По конструктивным данным	488,6
Эффективная толщина излучающего слоя	$s$	$\text{м}$	$3,6 \cdot V_m / F_m$	7,83

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

13.03.01.2020.036.12 ПЗ

Лист

31

Продолжение таблицы 4.9

1	2	3	4	5
Температура газов на входе	$\vartheta'$	$^{\circ}\text{C}$	Из расчета объема над ширмами	955
Энтальпия газов на входе	$I'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета объема над ширмами	3794,8
Температура газов за поворотной камерой	$\vartheta''$	$^{\circ}\text{C}$	Принимаем	880
Энтальпия газов за поворотной камерой	$I''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-9 таблице	3467,5
Средняя температура газов	$\vartheta_{cp}$	$^{\circ}\text{C}$	$(\vartheta' + \vartheta'') / 2$	917,5
Количество восприятия объема по балансу	$Q_{\delta}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\varphi(I' - I'')$	326,9
Средняя температура пара	$t_{cp}$	$^{\circ}\text{C}$	$((t'_{впр1} + t''_{об}) / 2)$	402,7
Прирост энтальпии	$\Delta i$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{(Q_{\delta} + Q_{л.вых}) \cdot B_p}{(D_m - D_{впр}) \cdot 1000}$	32,4
Температура загрязнения поверхности	$t_3$	$^{\circ}\text{C}$	$t_{cp} + 25$	427,7
Поглощающая способность $\text{RO}_2$	$p_n s$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	$p \cdot r_n \cdot s$	2,3
Коэффициент ослабления лучей $\text{RO}_2$	$K_2$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	Номограмма 2 [32]	0,52
Оптическая толщина	$kps$	-	$K_2 \cdot p_n \cdot s$	1.32
Степень черноты газов	$a_2$	-	Номограмма 17 [32]	0,73
Коэффициент теплоотдачи излучением	$a_l$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	Номограмма 18 [32]	78,2
Тепловосприятие экранов ПК	$Q_m^{экр}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$a_l \cdot H \cdot (\vartheta - t) / B$	248,3
Скорость газов при продольном омывании труб	$\omega_2^{нод}$	м/с	$\frac{B_p \cdot V_2 \cdot (\vartheta_{cp} + 273)}{F_2 \cdot 3600 \cdot 273}$	9,6
Средняя температура среды в подвесных трубах	$t''_{cp}$	$^{\circ}\text{C}$	Принимаем	430
Температура наружной поверхности загрязнений	$t_3$	$^{\circ}\text{C}$	$t_{cp} + 25$	455
Тепловосприятие подвесных труб	$Q_m^{нод}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{a_l \cdot H_{нод} \cdot (\vartheta_{cp} - t_3)}{B}$	76,6
Суммарное тепловосприятие экранов и подвесных труб	$\Sigma Q_m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$Q_m^{экр} + Q_m^{нод}$	324,9

Окончание таблицы 4.9

1	2	3	4	5
Отношение тепловосприя- тий	$Q_m/Q_б$	%	$(Q_m / Q_б) \cdot 100$	$324,9/326,9 \times$ $\times 100=99,3$

#### 4.6 КПШВД

Далее рассчитаем конвективный пароперегреватель высокого давления в таблице 4.10

Таблица 4.10 – Расчёт КПШВД

Рассчитываемая величина	Обо- значе- ние	Размер ность	Формула или обоснование	Итог
1	2	3	4	5
Диаметр и толщина труб	$d_n/b_{cm}$	мм	По конструк- тивным данным	32/6
Эффективная толщина газо- вого слоя	$s$	м	По конструк- тивным данным	0,226
Поверхность нагрева	$H$	м <sup>2</sup>	По конструк- тивным данным	2192
Продольный шаг	$\sigma_1$	-	$s_1 / d_1$	$140/32=4,3$
Поперечный шаг	$\sigma_2$	-	$s_2 / d_2$	$50,8/32=$ $=1,5$
Поверхность нагрева подвес- ных труб	$H_{под}$	м <sup>2</sup>	По конструк- тивным данным	62,4
Сечение для прохода газов	$F_2$	м <sup>2</sup>	По конструк- тивным данным	119,8
Температура газов на входе	$g'$	°C	Из расчета по- воротной каме- ры	880
Энтальпия газов на входе	$I'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета по- воротной каме- ры	3467,5
Температура пара перед 2-м впрыском	$t'_{впр2}$	°C	$t''_{и}$	462,4
Суммарное тепловосприятие экранов и подвесных труб	$\Sigma Q_m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$Q_m^{экр} + Q_m^{под}$	324,9

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

13.03.01.2020.036.12 ПЗ

Лист

33



Продолжение таблицы 4.10

1	2	3	4	5
Энтальпия пара после ширм	$i'_{впр2}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$i''_{ш}$	705,1
Снижение энтальпии после 2-го впрыска	$\Delta i_{впр2}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{D_{впр2} \cdot (I'_{впр2} - I_{нс})}{(D_{ш} - D_{впр2})}$	2,33
Энтальпия пара после 2-го впрыска	$i''_{впр2}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$i'_{впр2} - \Delta i_{впр2}$	702,8
Температура пара после второго впрыска	$t''_{впр2}$	$^{\circ}\text{C}$	По табл. воды и вод. пара [30]	452,4
Температура пара на выходе	$t_{кпп}$	$^{\circ}\text{C}$	Задано	545
Энтальпия пара на выходе	$i_{кпп}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По табл. воды [30]	792,6
Прирост энтальпии	$\Delta i$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{Q_{\sigma} B}{(D - D_{впр2}) 1000}$	33,9
Тепловосприятие по балансу	$Q_{\sigma}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\varphi(I' - I'')$	424,5
Тепловосприятие подвесных труб	$Q_{под}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Принимаем	20
Тепловосприятие КПП ВД по бал.	$Q_{кп}^{\sigma}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Принимаем	536
Энтальпия газов на выходе из КПП ВД	$I''_{кпп}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-9 таблице	3042,6
Температура газов на выходе из КПП ВД	$\vartheta''_{кпп}$	$^{\circ}\text{C}$	Принимаем	740
Средняя температура газов	$\vartheta_{ср}$	$^{\circ}\text{C}$	$(\vartheta' + \vartheta'') / 2$	810
Средняя температура пара	$t_{ср}$	$^{\circ}\text{C}$	$(t'_{ш} + t''_{кпп}) / 2$	498,7
Разница температур сред	$\Delta t_{\sigma}$	$^{\circ}\text{C}$	$\vartheta'_{хч} - t_{хч}$	427,6
Разница температур сред	$\Delta t_{м}$	$^{\circ}\text{C}$	$\vartheta'_{гч} - t''_{гч}$	195
Средний температурный напор	$\Delta t$	$^{\circ}\text{C}$	$\frac{\Delta t_{\sigma} - \Delta t_{м}}{2,3 \cdot \lg \left( \frac{\Delta t_{\sigma}}{\Delta t_{м}} \right)}$	296,6
Скорость газов	$\omega_z$	м/с	$\frac{B_p \cdot V_z \cdot (\vartheta_{ср} + 273)}{F_z \cdot 3600 \cdot 273}$	7,74
Коэффициент теплоотдачи	$a_k$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	Номограмма 10 [32]	64
Температура наружной поверхности загрязнений	$t_3$	$^{\circ}\text{C}$	$t_{ср} + 25$	523,7
Коэффициент ослабления лучей RO2	$K_z$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	Номограмма 2 [32]	2

Окончание таблицы 4.10

1	2	3	4	5
Поглощающая способность RO2	$\rho_n S$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	$\rho \cdot r_n \cdot S$	0,061
Оптическая толщина	$kps$	-	$K_2 \rho_n S$	0,122
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$a_2$	-	Номограмма 13 [32]	37
Коэффициент теплоотдачи излучением	$a_l$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	Номограмма 18 [32]	12,3
Коэффициент теплопередачи	$K$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	$\xi \cdot (a_k + a_l)$	46,8
Тепловосприятие КПП ВД	$Q_{кпп}^m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$K \cdot H_{кпп} \cdot \Delta t / B$	403,9
Тепловосприятие подвесных труб	$Q_{под}^m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$K \cdot H_{под} \cdot \Delta t / B$	11,4
Отношение тепловосприятий	$Q_m / Q_0$	%	$(Q_m / Q_0) \cdot 100$	$415,3/424,5 \times 100 = 97,8$

#### 4.7 КПП НД-2

Далее рассчитаем конвективный пароперегреватель низкого давления второй ступени в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Расчёт КПП НД-2

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Итог
1	2	3	4	5
Диаметр и толщина труб	$d_n/b_{см}$	мм	По конструктивным данным	45/4,5
Эффективная толщина излучающего слоя	s	м	По конструктивным данным	0,207
Поверхность нагрева подвесных труб	$H_{под}$	м <sup>2</sup>	По конструктивным данным	75,2
Поверхность нагрева	$H$	м <sup>2</sup>	По конструктивным данным	3080
Продольный шаг	$\sigma_1$	-	$s_1/d_1$	140/32=4,3
Поперечный шаг	$\sigma_2$	-	$s_2/d_2$	69,5/32=2,1
Температура газов на входе	$\vartheta'$	°C	Из расчета КПП ВД	740

## Окончание таблицы 4.11

1	2	3	4	5
Энтальпия газов на входе	$I'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета КПП ВД	3042,6
Температура газов на выходе	$\vartheta''$	$^{\circ}\text{C}$	задано	610
Энтальпия газов на выходе	$I''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-9 таблице	2523,4
Тепловосприятие по балансу	$Q_{\text{б}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\varphi \cdot (I' - I'')$	518,7
Тепловосприятие подвесных труб	$Q_{\text{под}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Принимаем	20
Тепловосприятие КПП НД по балансу	$Q_{\text{кпп}}^{\text{б}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Принимаем	528,7
Энтальпия пара на выходе	$i''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По табл. воды и вод. паров	848
Температура пара на выходе	$t''$	$^{\circ}\text{C}$	Принимаем	545
Прирост энтальпии	$\Delta i$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$Q_{\text{кпп}}^{\text{б}} \cdot B/D$	41,9
Энтальпия пара на входе в КПП НД 2	$i'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$i'' - \Delta i$	806
Температура пара на входе	$t'$	$^{\circ}\text{C}$	По табл. воды и вод. паров	468,5
Средняя температура газов	$\vartheta_{\text{ср}}$	$^{\circ}\text{C}$	$(\vartheta' + \vartheta'')/2$	675
Средняя температура пара	$t_{\text{ср}}$	$^{\circ}\text{C}$	$(t' + t'')/2$	506,75
Температурный напор	$\Delta t$	$^{\circ}\text{C}$	$\vartheta_{\text{ср}} - t_{\text{ср}}$	168,25
Скорость газов	$\omega_2$	м/с	$\frac{B_p \cdot V_2 \cdot (\vartheta_{\text{ср}} + 273)}{F_2 \cdot 3600 \cdot 273}$	13,4
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$a_k$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	Номограмма 10	71,2
Температура наружной поверхности загрязнений	$t_3$	$^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{ср}} + 25$	531,25
Коэффициент ослабления лучей RO2	$K_2$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	Номограмма 2	2,3
Поглощающая способность RO2	$p_n S$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	$\rho \cdot r_n S$	0,0558
Оптическая толщина	$kps$	-	$K_2 p_n S$	0,128

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

13.03.01.2020.036.12 ПЗ

Лист

36

Окончание таблицы 4.11

1	2	3	4	5
Коэффициент теплоотдачи излучением	$a_l$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	Номограмма 18	12,7
Коэффициент использования	$\zeta$	-	Принимаем	0,85
Коэффициент теплоотдачи	$K$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	$\zeta \cdot (a_l + a_2)$	71,3
Тепловосприятие КПП НД2	$Q_{кпп}^m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$K \cdot H_{кпп} \cdot \Delta t / V$	490,3
Тепловосприятие подвесных труб	$Q_{под}^m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$K \cdot H_{под} \cdot \Delta t / V$	11,9
Отношение тепловосприятий	$Q_m / Q_б$	%	$(Q_m / Q_б) 100$	$502,3 / 518,7 \times 100 = 96,8$

#### 4.8 КПП НД-1

Рассчитаем конвективный пароперегреватель низкого давления первой ступени в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Расчёт КПП НД-1

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Итог
1	2	3	4	5
Диаметр и толщина труб	$d/\sigma$	мм	По конструктивным данным	45/3,5
Эффективная толщина излучающего слоя	$S_{эф}$	м	По конструктивным данным	0,178
Поверхность нагрева	$H_{под}$	м <sup>2</sup>	По конструктивным данным	3060
Продольный шаг	$s_1$	-	По конструктивным данным	128
Поперечный шаг	$s_2$	-	По конструктивным данным	66,3
Температура газов на входе	$g'$	°C	Из расчета КППНД-2	610

Продолжение таблицы 4.12

1	2	3	4	5
Энтальпия газов на входе	$I'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета КПП НД-2	2523,4
Температура газов на выходе	$\vartheta''$	$^{\circ}\text{C}$	Принимаем	490
Энтальпия газов на выходе	$I''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-9 таблице	2037,9
Энтальпия пара на выходе	$I''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета КПП НД-2	806
Температура пара на выходе	$t''$	$^{\circ}\text{C}$	Из расчета КПП	468,5
Температура пара на входе	$t'$	$^{\circ}\text{C}$	По условию за- дания	310
Энтальпия пара на входе	$i'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По условию за- дания	768
Прирост энтальпий	$\Delta i$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$i'' - i'$	38
Тепловосприятие по балансу	$Q_0$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\varphi \cdot (I' - I'')$	480,2
Средняя температура газов	$\vartheta_{cp}$	$^{\circ}\text{C}$	$(\vartheta' + \vartheta'')/2$	550
Средняя температура пара	$t_{cp}$	$^{\circ}\text{C}$	$(t' + t'')/2$	389,25
Температурный напор	$\Delta t$	$^{\circ}\text{C}$	$\vartheta_{cp} - t_{cp}$	160,75
Скорость газов	$W_2$	м/с	$\frac{B_p \cdot V_2 \cdot (\vartheta_{cp} + 273)}{F_2 \cdot 3600 \cdot 273}$	12,3
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$a_k$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	Номограмма 10	69,3
Температура наружной по- верхности загрязнений	$t_3$	$^{\circ}\text{C}$	$t_{cp} + 25$	414,25
Коэффициент ослабления лучей RO <sub>2</sub>	$K_2$	-	Номограмма 2	2,7
Поглощающая способность RO <sub>2</sub>	$p_n S$	-	$\rho \cdot r_n \cdot S$	0,0467
Оптическая толщина	$K_2 S$	-	$K_2 p_n S$	0,126
Коэффициент теплоотдачи излучением	$a_l$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	Номограмма 18	11,2
Коэффициент использования	$\xi$	-	Принимаем	0,85
Коэффициент теплопередачи	$K$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	$\xi(a_k + a_l)$	68,4
Тепловосприятие КПП НД 2	$Q_m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$K \cdot H_{кпп} \cdot \Delta t / B$	446,7
Отношение тепловосприятий	$Q_m / Q_0$	%	$(Q_m / Q_0) \cdot 100$	93,1

Окончание таблицы 4.12

1	2	3	4	5
Поглощающая способность RO2	$p_n S$	-	$\rho \cdot r_n \cdot S$	0,0467
Оптическая толщина	$K_2 S$	-	$K_2 p_n S$	0,126
Коэффициент теплоотдачи излучением	$a_l$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	Номограмма 18	11,2
Коэффициент использования	$\xi$	-	Принимаем	0,85
Коэффициент теплопередачи	$K$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	$\xi(a_k + a_l)$	68,4
Тепловосприятие КПП НД 2	$Q_m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$K \cdot H_{\text{кпп}} \cdot \Delta t / B$	446,7
Отношение тепловосприятий	$Q_m / Q_0$	%	$(Q_m / Q_0) \cdot 100$	446,7/480,2= =93,1

#### 4.9 Водяной экономайзер

Тепловой расчёт экономайзера в таблице 4.13

Таблица 4.13 – Тепловой расчёт экономайзера

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Итог
1	2	3	4	5
Диаметр и толщина труб	$d/\sigma$	мм	По конструктивным данным	32/6
Эффективная толщина труб	$S$	м	По конструктивным данным	0,043
Продольный шаг	$s_1$	мм	По конструктивным данным	50
Поперечный шаг	$s_2$	мм	По конструктивным данным	40
Количество труб в ряду	$Z$	шт	По чертежу	240
Температура газов на входе	$\vartheta'$	°C	Из расчета КППНД-1	490
Энтальпия газов на входе	$I'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета КППНД-1	2037,9
Температура газов на выходе	$\vartheta''$	°C	Из расчета РВП	181
Энтальпия газов на выходе	$I''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета РВП	843,8

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

13.03.01.2020.036.12 ПЗ

Лист

39

Окончание таблицы 4.13

1	2	3	4	5
Температура воды на входе	$t'$	°С	Задано	260
Энтальпия воды на входе	$i'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$	По табл. воды и водяного пара	271,7
Тепловосприятие по балансу	$Q_6$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\varphi(I'-I'')$	1187,9
Прирост энтальпии	$\Delta i$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{Q_6 \cdot B}{(D - D_{\text{вп}}) \cdot 1000}$	95,3
Энтальпия питательной воды на выходе	$i''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$	$\Delta i + i'$	367
Температура питательной воды на выходе	$t''$	°С	По табл. воды и водяного пара	321,5
Средняя температура газов	$\vartheta_{\text{ср}}$	°С	$(\vartheta' + \vartheta'')/2$	335,5
Средняя температура воды	$t_{\text{ср}}$	°С	$(t' + t'')/2$	290,75
Температурный напор	$\Delta t$	°С	$\vartheta_{\text{ср}} - t_{\text{ср}}$	44,78
Скорость газов	$W_{\text{Г}}$	м/с	$\frac{B_p \cdot V_z \cdot (\vartheta_{\text{ср}} + 273)}{F_z \cdot 3600 \cdot 273}$	15,9
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$a_k$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°С}}$	Номограмма 10	126
Температура наружной поверхности загрязнений	$t_3$	°С	$t_{\text{ср}} + 25.$	315,75
Поглащающая способность	$p_n s$	-	$\rho \cdot r_n \cdot S$	0,011
Оптическая толщина	$K_z S$	-	$K_z p_n s$	0,0165
Степень черноты газов	$\alpha$	-	Номограмма 17	0,1
Коэффициент теплоотдачи излучением	$a_l$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°С}}$	Номограмма 18	54
Коэффициент использования	$\xi$	-	Принимаем	0,85
Коэффициент теплопередачи	$K$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°С}}$	$\xi(a_k + a_l)$	111,7
Поверхность нагрева	$H$	м <sup>2</sup>	-	17901,2
Длина каждого змеевика	$L_z$	м	$H/(3,14 \cdot 0,32 \cdot Z \cdot 4)$	185,6
Число петель	$Z_{\text{нем}}$	шт	По чертежу	480
Шаг петли	$S_{\text{нем}}$	мм	$2 \cdot S_1$	100
Ширина экономайзера	$h_{\text{эк}}$	мм	$Z_{\text{нем}} \cdot S_{\text{нем}}$	48000
Тепловосприятие	$Q_{\text{Г}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$K \cdot H_{\text{км}} \cdot \Delta t / B$	1187,9
Отношение тепловосприятий	$Q_m / Q_6$	%	$(Q_m / Q_6) \cdot 100$	1187,9 · 100 : 1187,9 = 100

#### 4.10 Уточнение теплового баланса

После теплового расчёта всех нагревательных поверхностей требуется осуществить уточнение теплового баланса и подвести итог расчёт сравнением с погрешностью расчётов таблица 4.14.

Таблица 4.14 – Невязка теплового баланса

Абсолютная погрешность	$\Delta Q$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$Q_p^p \cdot \eta_{ка} - \left( \begin{array}{l} Q_{л}^r + Q_{шл} + \\ + Q_{об.ш.} + Q_{пк} + \\ + Q_{кпп.вд} + Q_{кпп.нд} \\ + Q_{кпп.ндI} + Q_{эк} \end{array} \right)$	$8500 \cdot 0,9464 - (4028,5 + 1180 + 196,3 + 326,9 + 424,5 + 528,7 + 480,2 + 1187,9) = -154$
Невязка баланса	$\Delta Q / Q_p^p$	%	$(\Delta Q / Q_p^p) * 100$	$(-154 / 8500) / 100 = 1,81$

Невязка теплового баланса составила менее 2%, поэтому расчёт котлоагрегата ТГМП-114 энергоблока №4 филиала «Ириклинская ГРЭС» можно считать законченным и достоверным.



## 5 ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ РВП «А»

На филиале «Ириклинская ГРЭС» АО «Интер – РАО – Электрогенерация» установлены 8 энергоблоков, на каждый из которых приходится по 2-4 вращающихся регенеративных воздухоподогревателя. Вращающиеся РВП имеют небольшие габаритные размеры и массу (по сравнению с трубчатыми), что обусловливается более интенсивным теплообменом в узких щелях, образованных гофрированными стальными листами; они более эффективно очищаются при воздушной или паровой обдувке, слабее корродируют.

Конструктивно вращающиеся регенеративные воздухоподогреватели состоят из следующих частей: несущий каркас, кожух, ротор, система уплотнений, привод, опоры. Ротор РВП выполнен из двух частей. В центре находится ступица, которая состоит из двух дисков и продольных полос, между которыми заведены радиальные пластины.

Таким образом, пластины образуют ячейки ротора в форме секторов, два из которых, как правило, постоянно перекрыты секторными плитами уплотнений. В образованные ячейки помещаются пакеты теплообменных поверхностей - набивок. Для горячей и холодной частей ротора применяются различные конструкции набивок, с целью упрощения очистки холодной части ротора от загрязнений, а также с целью защиты их от коррозии.

Во вращающемся РВП передача теплоты от продуктов сгорания топлива к воздуху осуществляется посредством аккумулирующей набивки, установленной в медленно вращающемся роторе. Потoki горячих продуктов сгорания топлива, как правило, после водяного экономайзера, поступают в пакеты горячей набивки воздухоподогревателя, где в процессе теплообмена происходит понижение их температуры. Затем, продукты сгорания проходят пакеты холодной набивки РВП и через отводящий газоход поступают в дымовую трубу. В процессе охлаждения дымовых газов теплообменная набивка воспринимает основную часть теплоты газов, при этом температура пакетов, как холодных, так и горячих значительно увеличивается. В результате вращения ротора, нагретые пакеты набивок попадают в воздушную часть РВП, где холодный дутьевой воздух движется по каналам сначала между листами холодной набивки, а затем горячей. При этом в процессе теплообмена происходит повышение температуры воздуха до значения необходимого для эффективного сжигания топлива в топке котла. Затем, в процессе вращения, охлажденные сектора набивки попадают в газовую часть ротора, где цикл повторяется.

Для энергоблока №4, на котором установлен котлоагрегат ТГМП-114 был разработан проект по реконструкции РВП «А» в части замены набивки на более эффективную с нанесением эмали [36].

Нанесение эмали производится распылением в электростатическом поле, что обеспечивает отсутствие пор, равномерное, гладкое покрытие не только поверхности листов, но и их кантов:

- сертификат на изготовление в соответствии с EN10204-3.1B;
- слой эмали в соответствии с ISO 2178;

											Лист
											42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.036.12 ПЗ						

- тест на коррозионную стойкость в соответствии с ISO 27422 в растворе 30% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;
- тест на прочность при ударе;
- тест на пористость;
- контроль эмалирования кантов;
- тест на прочность от изгиба и давления;
- контроль точности изготовления в объеме пакета.

Усовершенствованная набивка обладает такими свойствами:

- интенсивный теплообмен с возможностью снижения температуры уходящих газов;
- высокую стойкость к коррозии;
- низкое аэродинамическое сопротивление пакетов набивки;
- высокую степень очистки.

После модернизации сравним результаты по основным показателям:

- снижение присосов в существующих РВП;
- повышение тепловой эффективности РВП;
- снижение расхода электроэнергии на собственные нужды;
- увеличение ресурса и надежности работы привода;
- увеличение межремонтного периода.

Расчёт котла ТГМП-114 после реконструкции РВП «А» путем замены набивки на более усовершенствованную расположим в приложении в таблице А.1. Сравнение показателей до и после реконструкции приведем в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Сравнение основных показателей до и после модернизации РВП

Наименование параметра	Значение		
	До модернизации	после	разница
Присосы на участке КПП-ДС, %	30,0	22,6	-7,4
Температура уходящих газов, °С	115	108	-7
Потери тепла с уходящими газами, %	4,76	3,56	-1,2
КПД котла (брутто), %	94,64	95,44	+0,8

## 6 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 26.07.2019) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».

Энергосбережение – реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования

Для тепловых электростанций, как и для других предприятий, вопросы повышения энергоэффективности являются актуальными. При нерационально подобранных режимах возникают сбои в работе, так как ненадежная система сама по себе не может быть эффективной. Очевидна необходимость поиска резервов и внедрения простых организационных и технических решений с целью обеспечения эффективного энергосбережения. Отсрочка выявления резервов и проведения мероприятий по энергосбережению может привести к значительному экономическому ущербу самого предприятия. Несколько пунктов, которые позволят максимально рационально и качественно использовать внутреннюю потенциальную энергию топлива и технические возможности оборудования, в целях энергосбережения для ГРЭС:

1. Содержание в чистоте наружных и внутренних поверхностей нагрева котла;
2. Использование газообразного топлива (природного газа) в качестве основного, при работе ГРЭС;
3. Максимально возможное внедрение более автоматизированных технологий;
4. Применение частотного привода для регулирования скорости вращения насосов, вентиляторов и дымососов;
5. Своевременная реконструкция и качественный ремонт оборудования.

Рассмотрим подробнее такой способ энергосбережения на ГРЭС, как реконструкция отдельного элемента энергоблока, а именно - замена набивки регенеративного вращающегося подогревателя, который позволяет значительно повысить фактический КПД парогенератора. После проведения реконструкции значительно меняется ряд показателей РВП, такие как:

1. Сопротивление РВВ по газовой части (-50%);
2. Потери тепла с уходящими газами (-1,2%);
3. Понижение температуры уходящих газов (-7 °С);
4. Удельный расход электроэнергии на собственные нужды (-0,2%);

Понижение температуры уходящих газов до значения 109°С допустимо, так как температура точки росы для природного газа колеблется в районе 80°С–90°С, а значит образование конденсата невозможно.

Необходимость такой реконструкции обусловлена тем, что замена насадки теплообменника дает возможность без повышения эксплуатационных затрат и снижения КПД повысить тепловую мощность энергоблока на 0,6-0,8% и увеличить срок службы тракта газохода за счет снижения температуры отпускаемых уходящих газов. Кроме того, снижается расход тепла на нагрев воздушной смеси, по-

									Лист
									44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.036.12 ПЗ				

даваемой на горелочное устройство, затраты топлива, уменьшаются потери тепла с уходящими газами. Снижаются затраты электроэнергии на собственные нужды.

Своевременная и эффективная замена набивки регенеративного подогревателя, а так же соблюдение всех норм и правил при монтаже обеспечивает высокоэффективную, надежную и устойчивую работу энергоблока и существенно понижает аварийность работы электростанции в целом.

Реконструкция РВП позволяет снизить себестоимость 1Гкал. Регенеративные подогреватели, работающие с использованием материалов последних разработок, обеспечивают бесперебойную подачу горячего воздуха требуемых параметров, а также высокую надежность в работе горелочных устройств в течение всего срока службы котельного агрегата.

Использование эмалированной поверхности нагрева при замене наполнения регенеративного вращающегося подогревателя позволяет снизить аэродинамическое сопротивление при прохождении уходящих газов через рабочую поверхность подогревателя на 10-12%, а теплосъем на 6-7%.

Обновлённый РВП по ряду показателей и возможностям превосходят устаревший, например в отношении:

- снижение вреда для окружающей среды, в частности атмосферы и климата, ввиду понижения температуры уходящих газов;
- возможности более гибкого регулирования паропроизводительности в допустимых пределах (качественного регулирования по температуре подающегося воздуха в горелочное устройство);
- повышения КПД подогревателя при замене набивки на 2,5 – 3%.

Благодаря современным разработкам и постоянному развитию инженерной мысли, новые разработки зачастую превосходят устаревшие аналоги. Таким образом, в данный момент, есть смысл в замене набивки из стали 08пс на более теплопроводную, и как следствие более эффективную набивку из высокоуглеродистой, эмалированной стали.

Практика реконструкции регенеративных вращающихся подогревателей, путём замены набивки является технически обоснованным и экономически оправданным мероприятием, которое положительно влияет на энергосбережение в разрезе одного предприятия и энергетики в целом.

## 7 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

В связи с интенсивным характером развития промышленного производства во всем мире весьма стала актуальна проблема охраны окружающей среды от вредных промышленных выбросов.

Защита воздушного бассейна от выбросов промышленных предприятий и энергетических объектов является одной из важнейших проблем современного производства. Загрязнение воздушной среды может вызвать нарушения экологических систем, ухудшить санитарно-гигиеническое состояние атмосферного воздуха и нанести ущерб экономике.

В процессе полного сгорания топлива в дымовых газах образуются углекислый газ  $\text{CO}_2$ , водяные пары  $\text{H}_2\text{O}$ , азот  $\text{N}_2$ , окислы серы  $\text{SO}_2$  (сернистый ангидрид),  $\text{SO}_3$  (серный ангидрид). При высоких температурах в ядре факела топков котлов большой мощности происходит частичное окисление азота, содержащегося в воздухе и топливе. Образуются окислы азота  $\text{NO}$  (окись азота) и  $\text{NO}_2$  (двуокись азота).

Основные характеристики оборудования:

- Котёл паровой
- Избыток воздуха за РВП: 1,37
- Доля рециркуляции: 0,1
- Тип котельного агрегата: ТГМП-114
- Количество: 2 шт.
- Паропроизводительность: 950 т/ч
- Температура уходящих газов  $\vartheta_{\text{yx}} = 115$  °С.
- Топливо: природный газ

Характеристику топлива представим в таблице 7.1

Таблица 7.1 – Характеристика топлива

Компоненты газа, %					
$\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{C}_3\text{H}_8$	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	$\text{CO}_2$	$\text{N}_2$
98,9	0,12	0,01	0.01	0.06	0.9

Низшая удельная теплота сгорания:

- $Q_n^p = 8500 \text{ ккал/м}^3 = 35590,7 \text{ кДж/м}^3$ ;
- Расход топлива для котла:  $B = 54573 \text{ м}^3/\text{ч}$

Дымовая труба:

- Высота 180 м;
- Наружный диаметр верхней части составляет 7,2 м;
- Внутренний диаметр верхней части составляет 6,6 м;

						Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.036.12 ПЗ	

## 7.1 Мероприятия по охране окружающей среды

При сжигании различных топлив, наряду с основными продуктами сгорания ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ) в атмосферу поступают загрязняющие вещества в твердом состоянии (зола и сажа), а также токсичные газообразные вещества – серный и сернистый ангидрид ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ). Все продукты неполного сгорания являются вредными ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ).

Оксиды азота вредно воздействуют на органы дыхания живых организмов и вызывают ряд серьезных заболеваний, а также разрушающе действуют на оборудование и материалы, способствуют ухудшению видимости.

Оксиды азота образуются за счет окисления содержащегося в топливе азота и азота воздуха, и содержатся в продуктах сгорания всех топлив.

Условием окисления азота воздуха является диссоциация молекулы кислорода воздуха под воздействием высоких температур в топке. В результате реакции в топочной камере образуется в основном окись азота  $\text{NO}$  (более 95%). Образование двуокиси азота  $\text{NO}_2$  за счет доокисления  $\text{NO}$  требует значительного времени и происходит при низких температурах на открытом воздухе.

В воде  $\text{NO}$  практически не растворяется. Очистка продуктов сгорания от  $\text{NO}$  и других окислов азота технически сложна и в большинстве случаев экономически нерентабельна. Вследствие этого, усилия направлены в основном на снижение образования окислов азота в топках котлов.

Радикальным способом снижения образования окислов азота является организация двухстадийного сжигания топлива, т. е. применение двухступенчатых горелочных устройств. Поэтому в первичную зону горения подается 50-70% необходимого для горения воздуха, остальная часть воздуха поступает во вторую зону, т.е. происходит дожигание продуктов неполного сгорания.

Снижение температуры подогрева воздуха и уменьшение избытка воздуха в топке тоже уменьшает образование окислов азота, как за счет снижения температурного уровня в топке, так и за счет уменьшения концентрации свободного кислорода.

Защита воздушного бассейна от загрязнений регламентируется предельно допустимыми концентрациями вредных веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов. Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредного вещества в воздухе является критерием санитарной оценки среды.

Под предельно допустимой концентрацией следует понимать такую концентрацию различных веществ и химических соединений, которая при ежедневном воздействии на организм человека не вызывает каких-либо патологических изменений или заболеваний.

ПДК атмосферных загрязнений устанавливается в двух показателях: максимально-разовая и среднесуточная.

Для двуокиси азота ( $\text{NO}_2$ ) – основного загрязняющего вещества при работе котельной на природном газе, предельно допустимая максимально-разовая концентрация равна  $0,085 \text{ мг/м}^3$ , среднесуточная –  $0,04 \text{ мг/м}^3$ .

									Лист
									47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.036.12 ПЗ				

При одновременном совместном присутствии в выбросах веществ однонаправленного вредного действия их безразмерная суммарная концентрация не должна превышать 1 (7.1):

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \frac{C_3}{ПДК_3} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1, \quad (7.1)$$

где  $C_1, C_2, C_3, C_n$  – фактические концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе,  $\text{мг/м}^3$ ;

$ПДК_1, ПДК_2, ПДК_3, ПДК_n$  – предельно допустимая концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе,  $\text{мг/м}^3$ ;

Расчёт концентрации загрязняющего вещества выполнен без учёта фоновой концентрации  $\text{NO}_x$ .

## 7.2 Расчет концентрации загрязняющего вещества ( $\text{NO}_2$ )

Расчет концентрации загрязняющего вещества ( $\text{NO}_2$ ) для летнего режима, так как в летний период процесс рассеивания вредных веществ в атмосфере наиболее затруднителен, ввиду низкой разности температур уходящих газов и окружающего воздуха

Расход топлива:

$$B = 15,16 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Выброс окислов азота рассчитываем по формуле (7.2):

$$M_{\text{NO}_2} = 0,034 \cdot 10^{-3} \beta_1 k \cdot B \cdot Q_n^p \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) (1 - \beta_2 r) \cdot \beta_3, \text{ г/с} \quad (7.2)$$

где  $\beta_1$  – безразмерный поправочный коэффициент, учитывающий влияние на выход окислов азота качества сжигаемого топлива;

$\beta_2$  – коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих газов в зависимости от условий подачи их в топку;

$r$  – степень рециркуляции инертных газов в процентах расхода дутьевого воздуха;

$\beta_3$  – коэффициент, учитывающий конструкцию горелок;

$k$  – коэффициент, характеризующий выход окислов азота на 1 т сожженного условного топлива,  $\text{кг/т}$ .

Безразмерный поправочный коэффициент равен 1, коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих газов равен 0, степень рециркуляции инертных газов равен 0, коэффициент, учитывающий конструкцию горелок равен 1.

Для парогенераторов  $k$  находится по формуле (7.3):

$$k = \frac{12 \cdot D_{\phi}}{200 + D_n}, \quad (7.3)$$

где  $D_n$  и  $D_{\phi}$  – номинальная и фактическая паропроизводительность котла, т/ч.

$$k = \frac{12 \cdot 950}{200 + 950} = 9,91 \text{ кг/т}$$

Тогда находим выбросы окислов азота:

$$M_{NO_2} = 0,034 \cdot 0,85 \cdot 9,91 \cdot 15,16 \cdot 35,590 \left(1 - \frac{4,6}{100}\right) \cdot (1 - 0) \cdot 1 = 147,4 \text{ г/с}$$

Теоретический объём воздуха необходимый для сжигания  $1 \text{ м}^3$  топлива находим по формуле (7.4):

$$V^0 = 0,0476 \left[ 0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \Sigma(m + 0,25n)C_mH_n - O_2 \right] \quad (7.4)$$

$$V^0 = 0,0476 \times [(1 + 0,25 \times 4)98,9 + (2 + 0,25 \times 6)0,12 + (3 + 0,25 \times 8)0,01 + (4 + 0,25 \cdot 10) \times 0,01 - 0] = 9,44 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Объём трёхатомных газов (7.5):

$$V_{RO_2}^0 = 0,01(CO_2 + CO + H_2S + \Sigma m C_m H_n) \quad (7.5)$$

$$V_{RO_2}^0 = 0,01 \cdot (0,1 + 1 \times 98,9 + 2 \times 0,12 + 3 \times 0,01 + 4 \times 0,01) = 0,99 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Объём двухатомных газов равен теоретическому объёму азота (7.6):

$$V_{N_2}^0 = 0,79V^0 + 0,01N_2 = 0,79 \times 9,44 + 0,01 \times 0,9 = 7,47 \text{ м}^3 / \text{м}^3 \quad (7.6)$$

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \times 9,44 + 0,01 \times 0,9 = 7,47 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Объём водяных паров (7.7):

$$V_{H_2O}^0 = 0,01(H_2S + H_2 + \Sigma 0,5n C_m H_n + 0,124 d_{z,m}) + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) V_0 \quad (7.7)$$

										Лист
										49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.036.12 ПЗ					



Рассчитаем численное значение  $V_{H_2O}^0$ :

$$V_{H_2O}^0 = 0,01(0,5 \times 4 \times 98,9 + 0,5 \times 6 \times 0,12 + 0,5 \times 8 \times 0,01 + 0,5 \times 10 \times 0,01 + 1,24) + 0,0161 \times 9,44 = 2,13 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Объем продуктов сгорания для природного газа при нормальных условиях по формуле (7.8):

$$V_z = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O} + (\alpha - 1) \cdot V_g^0 \quad (7.8)$$

$$V_z = 0,99 + 7,47 + 2,13 + (1,37 - 1) \cdot 9,44 = 11,75 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Приведенный объем (7.9):

$$V_{np} = \frac{p_n \cdot V_z \cdot T_z}{p_z \cdot T_n} \quad (7.9)$$

$$V_{np} = \frac{760 \cdot 11,75 \cdot 388}{760 \cdot 273} = 16,7 \text{ м}^3 / \text{м}^3 .$$

Объемный расход выбрасываемых газов (7.10):

$$V = B \cdot V_{np} \quad (7.10)$$

$$V = 15,26 \cdot 16,7 = 254,8 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Концентрация окислов азота (7.11):

$$C_{NO_2} = \frac{M_{NO_2}}{V} \quad (7.11)$$

$$C_{NO_2} = \frac{147,4}{254,8} = 0,58 \text{ г/м}^3$$

Так как высота дымовой трубы известна (180 м), следует определить скорость газов на выходе из трубы и концентрацию окислов азота в приземном слое.

Скорость газов на выходе из трубы (7.12):

$$w = \frac{4V}{\pi d^2} \quad (7.12)$$

$$w = \frac{4 \cdot 254,8}{3,14 \cdot 7,2^2} = 6,25 \text{ м/с}$$

									Лист
									50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.036.12 ПЗ				

Концентрация окислов азота в приземном слое (7.13):

$$C_{NO_2} = \frac{A \cdot M_{NO_2} \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}} \quad (7.13)$$

где  $m$  и  $n$  - коэффициенты, учитывающие подъём факела над трубой;

$A$  – коэффициент, учитывающий рассеивающие свойства атмосферы и определяется климатической зоной;

$F$  – коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;

Для газообразных веществ принимаем:

$A = 200$  (для Казахстана)

$n = 1$

$F = 1$

Высота трубы  $H = 180$  м, рассчитываем скорость (7.14):

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V \cdot \Delta T}{H}}, \quad (7.14)$$

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{254,8 \cdot (115 - 29,5)}{180}} = 3,21;$$

Параметр  $f$  находим по формуле (7.15)

$$f = \frac{10^3 \cdot w^2 \cdot D_o}{H^2 \cdot \Delta T} \quad (7.15)$$

$$f = \frac{10^3 \cdot 6,25^2 \cdot 7,2}{120^2 \cdot (115 - 29,5)} = 0,228;$$

Параметр  $m$  находим по формуле (7.16):

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} \quad (7.16)$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,228} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,228}} = 1,08$$

									Лист
									51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.036.12 ПЗ				

Концентрация окислов азота в приземном слое:

$$C_{NO_2} = \frac{180 \cdot 147,4 \cdot 1 \cdot 1,08 \cdot 1}{180^2 \sqrt[3]{254,8 \cdot 80}} = 0,032 \text{ мг/м}^3$$

По данным предприятия на данную трубу приходят дымовые тракты двух агрегатов ТГМП-114, поэтому общая концентрация будет равна (7.17):

$$C_{NO_2 \text{общая}} = C_{NO_2} \cdot 2 \quad (7.17)$$

$$C_{NO_2 \text{общая}} = 0,032 \cdot 2 = 0,064 \text{ мг/м}^3$$

Получаю  $C_{NO_2 \text{общая}} < ПДК_{NO_2} = 0,085 \text{ мг / м}^3$ , следовательно, высота дымовой трубы удовлетворяет данным условиям и рассеивает выбросы до необходимой концентрации. Расчёт выполнен без учёта фоновой концентрации  $NO_x$ .

					<i>13.03.01.2020.036.12 ПЗ</i>	Лист
						52
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## 8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В дипломной работе производится реконструкция котла ТГМП-114, путём замены набивки РВП. В результате замены повышается выработка электроэнергии, снижается расход топлива, увеличивается КПД котла.

За эксплуатацией оборудования котлотурбинного цеха следят операторы. В ходе работы на них действуют опасные и вредные производственные факторы.

### 8.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Опасные и вредные производственные факторы (ОВПФ) делятся на физические, химические, биологические и психофизические.

К физическому типу опасных и вредных производственных факторов относятся:

- запыленность воздуха в цехе;
- повышенная (пониженная) влажность в цехе;
- повышенная или пониженная температура воздуха в цехе;
- присутствие парения от трубопроводов;
- тепловое излучение от нагретых поверхностей;
- высокая температура воздуха рабочей зоны и низкая влажность воздуха;
- повышенный уровень шума из-за высоких параметров работы котельного оборудования, ввиду высокого давления в пароводяных трактах котла, давления в трубопроводе, движения жидкостей, пара и газа в трубах с большой скоростью, а так же большого количества оборудования, сконцентрированного в одном месте;
- повышенный уровень вибрации, возникающий при работе турбин, при движении пара в трубах с большой скоростью, при работе маслоохладителей;
- недостаточное освещение цеха и недостатка искусственного освещения из-за небольшого количества и не лучшей работы осветительных приборов.

К травмоопасным производственным факторам относятся:

- подъёмно-транспортные механизмы и перемещаемые грузы;
- вращающиеся механизмы (турбина, насосы, вентиляторы);
- оборудование, работающее под давлением (трубопроводы пара, турбина, паропроводы котла);
- высокая температура оборудования (трубопроводы пара);
- множество лестниц, переходов, при передвижении по которым возможно падение и получение травм;
- повышенное давление, в среде нахождения теплоносителя;

К психофизиологическому типу опасных и вредных факторов относятся:

- тяжесть трудового процесса: физическая нагрузка при работе, динамическая нагрузка, статическая нагрузка;
- напряженность трудового процесса: эмоциональные нагрузки, монотонность нагрузок, умственное перенапряжение, большая ответственность за исправную

						13.03.01.2020.036.12 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			53

работу оборудования и всего технологического цикла, напряжение из-за сменного графика работы.

Больше всего вредные условия оказывают влияние в течение смены на следующих рабочих:

- машинисты-обходчики по котельному оборудованию;
- машинисты-обходчики по турбинному оборудованию;
- слесаря по ремонту оборудования;
- машинисты блочного щита управления;
- начальники смен.

В турбинной части КТЦ возможны аварийные ситуации:

- повреждение системы маслоохлождения;
- разрыв трубопроводов под высоким давлением;
- разрушения роторов;
- образование трещин и разрывов в роторах;
- разрушение дисков;
- повреждения корпусов;
- аварии и неполадки, износ подшипников;
- аварии и неполадки систем парораспределения, автоматического регулирования и защиты.

При эксплуатации турбины особую угрозу представляют такие элементы турбоустановки:

- ротор турбогенератора;
- уплотнения вала и их система маслоснабжения;
- статор, заполненный маслом;
- электрические и технологические защиты турбогенератора.

Взрывоопасные среды могут образоваться в различных местах газомасляной системы генератора, а также в прилегающих узлах и отсеках.

Возгорания возможны в любых местах, где произойдет утечка масла. Степень опасности возгорания определяется местом утечки, близостью людей и возможностью их травмирования.

### **8.1.1 Воздух рабочей зоны**

Воздух рабочей зоны оценивается по метеорологическим и атмосферным условиям на рабочих местах. По параметрам микроклимата и составом воздуха в зависимости от специфики производства.

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [3], показателями характеризующими микроклимат являются: температура воздуха, относительная влажность, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения. Оптимальные параметры, характеризующие микроклимат указаны в таблице 8.2.

Таблица 8.2 - Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений [3].

Период года	Категория	Температура, °С			Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
		оптимальная	допустимая		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая
			верхняя граница	нижняя граница				
Холодный	легкая-Іа	22-24	25	21	40-60	75	0,1	не более 0,1
	легкая-Іб	21-23	24	20	40-60	75	0,1	не более 0,2
Теплый	легкая-Іа	23-25	28	22	40-60	55(при 28°С)	0,1	0,1-0,2
	легкая-Іб	22-24	28	21	40-60	60 (при 28°С)	0,2	0,1-0,3

Средняя температура воздуха в щитовой 23°С; влажность 50%; скорость движения воздуха 0.1 м/с - что соответствует оптимальным величинам показателей микроклимата, согласно ГОСТ 12.1.005-88ССБТ. «Общие санитарно гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

В щитовой также установлена система местного кондиционирования воздуха в виде вытяжной вентиляции и электровентиляторов потолочного типа.

Работа оператора котлотурбинного цеха по энергозатратам организма относится к категории Іа и Іб (лёгкий физический труд).

При наличии теплового облучения работников температура воздуха на рабочих местах не должна превышать в зависимости от категории работ следующих величин:

- 25°С – при категории работ Іа;
- 24°С – при категории работ Іб;

Тепловое излучение от оборудования котлотурбинного цеха составляет 220—600 Вт/м<sup>2</sup>.

### 8.1.2 Световая среда

Для освещения котлотурбинного цеха используется естественное и искусственное освещение. Места, которые по ряду причин не обеспечены дневным светом, оснащают электрическим освещением.

Требования к производственному освещению:

1. Обеспечить равномерное освещение в поле зрения;
  2. Не иметь в поле зрения прямой и отраженной плоскости;
  3. Направление световых потоков должно соответствовать характеру выполняемой работы;
  4. Величина освещенности должна быть: непрерывна во времени и равномерно распределена на рабочей поверхности и в пределах окружающего пространства;
  5. Отсутствие резких теней на рабочей поверхности;
  6. Освещение должно быть безопасным и безвредным.
- Освещенность основных рабочих мест: измерительные приборы, указатели уровня – 500 лк;  
Приборы управления, питания турбин – 500 лк;  
Помещения насосов, трубопроводов, площадки обслуживания турбоагрегатов – 200 лк;  
Коридоры и лестницы – 100 лк [4].

Помимо рабочего освещения в котлотурбинном цехе имеется аварийное освещение от источников питания, независимых от общей освещенности.

Места, подлежащие обязательному оборудованию системой аварийного освещения:

- фронт турбины, а также проходы между турбинами и вспомогательным оборудованием;
- тепловые щиты и пульта управления;
- измерительные приборы;
- площадки и лестницы;
- насосные помещения.

Для электрических ламп общего и местного освещения, подвешенных на высоте ниже 2,5 м над полом, предусматривается напряжение не более 36в.

Естественное освещение подразделяется на следующие типы: боковое, верхнее и комбинированное (верхнее и боковое) [4].

Искусственное освещение подразделяется на рабочее и аварийное. Для искусственного освещения используют светильники.

Коэффициент равномерности освещенности  $U_0$  должен быть:

Не менее 0,40 для зоны непосредственного окружения

Для зоны периферии – 0,10;

Для помещения контроля не менее 0,70.

На остальной территории котлотурбинного цеха искусственное освещение должно быть не менее 200 лк [4].

### **8.1.3 Нормирование шума и вибрации**

Источником шума и вибрации в котлотурбинном цехе являются турбины, генераторы, системы вентиляции и насосы.

Производственный шум оказывает вредное воздействие на организм человека: нарушает работу сердечно – сосудистой системы, некоторых внутренних органов,

					Лист
					56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

13.03.01.2020.036.12 ПЗ

способствует возникновению гипертонических болезней, ослабляет слуховую способность, снижает работоспособность, на фоне всех предшествующих факторов.

Руководство «Ириклинской» ГРЭС проводит вибрационную диагностику на основании таких стандартов как:

- ГОСТ Р 53564-2009 Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств;
- ГОСТ 30576-98 Вибрация. Насосы центробежные питательные тепловых электростанций. Нормы вибрации и общие требования к проведению измерений;
- ГОСТ Р 55263-2012 (ИСО 7919-2:2009) Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на вращающихся валах. Часть 2. Стационарные паровые турбины и генераторы мощностью более 50 МВт с рабочими частотами вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 об/мин;

По этим стандартам контролируют предельный уровень вибрации оборудования. Скачки этого параметра могут привести к неисправности оборудования, но так как при обходе оборудования и визуального контроля машинист-обходчик не всегда может определить вид неисправности, то оборудование продолжит свою работу при повышенном уровне. Также при обходах оборудования, работник постоянно находится в данных условиях, что влияет на его здоровье.

Предельно допустимый уровень шума для операторской работы в котлотурбинном зале - 80 дБА.

Руководству станции необходимо снизить уровень шума путем выполнения следующих мероприятий:

- подбор рабочего оборудования, обладающего меньшими шумовыми характеристиками;
- информирование и обучение рабочих таким режимам работы с оборудованием, которое обеспечивает минимальные уровни генерируемого шума;
- использование всех необходимых технических средств (защитные экраны, кожухи, звукопоглощающие покрытия, изоляция, амортизация);
- ограничение продолжительности и интенсивности воздействия до уровней приемлемого риска;
- ограничение доступа в рабочие зоны с уровнем шума более 80 дБА рабочих, не связанных с основным технологическим процессом;
- обязательное предоставление работающим средств индивидуальной защиты органов слуха.

Для машиниста-обходчика энергоблока по источникам возникновения вибраций выделяют общую вибрацию 3 категории.

Общая вибрация 3 категории относится к 1 типу: возникает на рабочих местах производственных помещений.

Вредное воздействие вибрации на организм человека:

- Поражение нейрососудистой и нервномышечной систем;
- Нарушение функционирования опорно-двигательного аппарата;
- Изменение, осложнение обмена веществ и др.

					13.03.01.2020.036.12 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57



Также наблюдаются изменения центральной нервной системы, которые связаны с комбинированным действием вибрации и интенсивного шума.

Предельно допустимые значения вибраций, передающиеся на рабочее место: уровень колебательной скорости – 100 дБ; колебательная скорость – 0,50 см/с [40].

Для снижения воздействия общей вибрации при работе технологического оборудования в турбинном цехе применяются такие меры защиты, как:

- уменьшение интенсивности вибрации непосредственно в источнике, путём модернизации составных частей;

- применение вибродемпфирования, динамического виброгашения, активной и пассивной виброизоляции;

- рациональная организация режима труда и отдыха, с учётом существующих норм;

Турбины, генераторы и насосы устанавливаются на виброизолирующем основании. Каждый агрегат устанавливается на отдельном фундаменте.

#### **8.1.4 Тяжесть трудового процесса**

Тяжесть трудового процесса оценивают по ряду показателей, выраженных в эргометрических величинах, характеризующих трудовой процесс, независимо от индивидуальных особенностей человека, участвующего в этом процессе.

Основными показателями тяжести трудового процесса являются:

- физическая динамическая нагрузка;

- масса поднимаемого и перемещаемого груза вручную;

- стереотипные рабочие движения;

- статическая нагрузка;

- рабочая поза;

- наклоны корпуса;

- перемещение в пространстве.

Каждый показатель может быть индивидуально оценен.

Тяжесть трудового процесса машиниста-обходчика энергоблока – 2 класс условий труда (допустимый, средняя физическая нагрузка).

#### **8.2 Обеспечение безопасных условий труда**

Разработка мероприятий по снижению воздействия опасных факторов и обеспечению безопасных условий труда

На ТЭЦ чтобы снизить воздействие опасных и вредных производственных факторов и улучшить условия труда персонала, регулярно проводят ряд мероприятий. Перечень мероприятий утверждается в соответствии со статьей 226 ТК РФ и исходя из специфики деятельности каждого цеха и подразделения.

Основными и наиболее значимыми мероприятиями являются:

- проведение аттестации рабочих мест;

- проведение специальной оценки условий труда каждого рабочего;

- места для всего технологического процесса;
- анализ материалов расследования несчастных случаев;
- обучение охране труда и технике и безопасности и проверка знаний;
- обеспечение работников СИЗ;
- проведение медицинских осмотров;
- проведение дней техники безопасности каждый вторник;
- внеплановые проверки техники безопасности в ночные смены;
- изменение технологического процесса.
- анализ материалов расследования несчастных случаев;

Чтобы улучшить условия труда и уменьшить (или полностью исключить) воздействие опасных и вредных производственных факторов необходимо проводить все мероприятия, а также как можно больше уделять внимание обучению персонала, регулярным тренировкам и стимулировать персонал на качественное и правильное выполнение работ.

В таблице 8.3 рассмотрены мероприятия, которые направлены на снижение воздействия опасных и вредных производственных факторов, а также обеспечение безопасных условий труда при работе с котлотурбинным оборудованием

Таблица 8.3 – Мероприятия, направленные на снижение воздействия опасных и вредных производственных факторов

Наименование операции	Опасные и вредные факторы	Источники, причины возникновения опасных и вредных факторов	Мероприятия по снижению воздействия ОПВФ
1	2	3	4
<b>Вредные факторы</b>			
Обход и обслуживание котлотурбинного оборудования	Параметры микроклимата помещения не соответствуют нормам	Повышенная или пониженная температура воздуха, загазованность, запыленность	Установка вентиляции, обеспечение СИЗ
	Не соответствующий уровень освещенности	Слабые источники искусственного освещения, отсутствие естественного освещения в цехе	Увеличение источников света и правильный подбор ламп
	Механическое оборудование с движущимися и вращающимися частями	Валы, роторы	Дистанционное наблюдение за параметрами вращения роторов, использование ограждающих устройств
	Превышение предельно допустимого уровня шума	Турбоагрегаты, компрессора, насосы	Применение звукоизоляции оборудования, СИЗ с противозумными наушниками или берушами, наблюдение

Продолжение таблицы 8.3

1	2	3	4
Опасные факторы			
Обход и обслуживание котлотурбинного оборудования	Поражение электрическим током	Оборудование, находящееся под напряжением	Защитные ограждения, применением перчаток диэлектрических
	Возникновение пожаров и взрывов	Сосуды, находящейся под давлением, маслосистемы турбоагрегата	Защитные ограждения, применением перчаток диэлектрических
	Опасность поражения молнией	Распределительное устройство	Установка молниеотводов

### 8.3 Средства индивидуальной защиты

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) — приспособления, предназначенные для защиты кожных покровов и органов дыхания от воздействия отравляющих веществ и других вредных примесей в воздухе. Такие средства делятся на средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) и средства защиты кожи. К СИЗОД относятся противогазы, респираторы, ватно-марлевые повязки, к средствам защиты кожи — защитные костюмы. Выбор средств защиты производится с учётом их назначения и защитных свойств, конкретных условий обстановки и характера заражения. Под средствами защиты работающих понимаются средства индивидуальной защиты, которые направлены на уменьшение воздействия ОПВФ и общих загрязнений при работе.

Для частичного или полного уменьшения воздействия вредных факторов на работников ТЭЦ, руководитель предприятия приобретает и выдает средства индивидуальной защиты.

Приобретение и выдача средств осуществляется в соответствии с Приказом от 9 декабря 2014 г. № 997 «Об утверждении типовых норм бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам сквозных профессий и должностей всех видов экономической деятельности, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением».

Все СИЗ должны соответствовать росту, размеру работника, его должности и корпоративному стилю предприятия. Для организации обеспечения работников спецодеждой и СИЗ на ТЭЦ действует Положение, в котором установлен единый порядок закупки, выдачи, учета, хранения и использования средств защиты, а также рассматривается порядок обучения персонала правильности применения СИЗ.

Средства индивидуальной защиты, выдаваемые обслуживающему персоналу котлотурбинного цеха, рассмотрены в таблице 8.4.

Таблица 8.4 – Средства индивидуальной защиты, выдаваемые обслуживающему персоналу котлотурбинного цеха

Должность (профессия)	Документа на основании которого выдается СИЗ	СИЗ	Оценка выполнения требований к средствам защиты
1	2	3	4
Машинист-обходчик по котельному/турбинному оборудованию	Приказ от 9 декабря 2014 г. № 997н «Об утверждении типовых норм бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам сквозных профессий и должностей всех видов экономической деятельности, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением»	Костюм	Выполняется
		Ботинки	Выполняется
		Каска с противοшумными наушниками	Выполняется
		Перчатки	Выполняется
		Очки защитные	Выполняется
		СИЗ органов дыхания	Выполняется

## 8.4 Электробезопасность

Возможность поражения электрическим током возникает в результате случайного прикосновения к незащищенным токоведущим частям, которые находятся под напряжением, а также в результате появления напряжения на металлических нетоковедущих частях оборудования (корпусах, кожухах, ограждениях) вследствие повреждения изоляции.

Электрический ток может поражать отдельные участки тела или весь организм в общем, вызывать ожоги, электрометаллизацию кожи, электрический удар.

Напряжение питающей сети в турбинном цехе 380/220 В.

Для приема и распределения электроэнергии предусмотрен щит вводно-распределительного устройства ВРУ. Для защиты от перегрузки по току и коротких замыканий, а также для обеспечения требований безопасности при проведении ремонтных работ. На вводах в щит установлены автоматические выключатели. Основной режим работы – автоматический. Предусмотрены также режимы местного или дистанционного управления, при

этом избирателем режима управления подается сигнал в систему автоматического управления.

Распределительная сеть выполнена кабелем марки ВВГнг и КВВГнг, проложенным в полу в трубах и по кабельным конструкциям. Сечение кабеля выбиралось, исходя из условия допустимого нагрева, и проверялось по условию отключения однофазного короткого замыкания и падению напряжения.

Все металлические части электрооборудования, не находящиеся под напряжением, но имеющие вероятность оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, подлежат заземлению.

В цехе находится электрооборудование, каждое из которых имеет свою категорию:

1 категория: электроника (защищенное электрооборудование, оборудование присоединенное к цепям);

2 категория: однофазные подключаемые нагрузки, розетки и длинные отводы;

3 категория: трехфазное энергосбережение, в том числе однофазные линии освещения;

4 категория: любые воздушные линии, электропечи;

Все оборудование, входящее в создаваемую систему и находящееся под напряжением, имеет защитное заземление.

Электрическое сопротивление изоляции вновь вводимого оборудования должно быть строго соблюдено правилами устройства электроустановок (ПУЭ) для электроустановок напряжением до 1000 В.

## 8.5 Пожаровзрывобезопасность

Производственное оборудование должно быть пожаровзрывобезопасным в предусмотренных условиях эксплуатации.

Мероприятия по пожарной профилактике бывают:

1. организационные

2. технические;

3. режимные;

4. эксплуатационные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию машин и внутрицехового транспорта, правильное содержание зданий, территории, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, организацию пожарно-технических комиссий, издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности и т.д.

К техническим мероприятиям относятся, соблюдение противопожарных правил, норм проектирования, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

Режимные мероприятия - это курение в строго отведенных местах производства, запрещение сварочных и других огневых работ в пожароопасных помещениях, соблюдение общей техники безопасности при работе в пожароопасных зонах и т.д.

									Лист
									62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.036.12 ПЗ				

Эксплуатационными мероприятиями являются своевременные профилактические осмотры, ремонты и испытания технологического оборудования.

Категория производств по пожарной опасности и требуемая степень огнестойкости регламентируется требованиями ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ./3 и представлены в виде таблицы 8.5.

Таблица 8.5 – Категория производств по пожарной опасности и требуемая степень огнестойкости

Наименование зданий и сооружений	Категории	Минимальная степень огнестойкости
Главный корпус	Г	II
Помещения ГЩУ	Д	II
ЗРУ	В	II
Помещения воздухоочистки, хлоратористые	Д	III
Приемно – сливные устройства, насосные	В	II
Пиковые котельные	Г	II
Помещения высоковольтных подстанций	Г	II
Дымовые трубы и газоходы	Г	II
Материальные склады	В	III
Градирни	Д	V

По степени пожарной опасности котлотурбинный цех относится к категории «Г», по степени огнестойкости является объектом II степени, класс пожароопасности П-1А.

Источником пожара в турбинном цехе может быть турбинное масло.

Для пожарной безопасности предусматриваются эвакуационные выходы, внутренний и наружный пожарные водопроводы.

Так же для борьбы с масляными пожарами предусматривается применение огнестойких жидкостей. В системе смазки и регулирования напорные маслопроводы, находящиеся в зоне высоких температур, помещаются в специальные защитные короба, выполненные из листовой стали толщиной не менее 3 мм. Все зоны скопления масляных паров вентилируются с помощью эксгаузеров. Для предотвращения утечки масла установлены датчики падения давления, а так же осуществляется регулярный обход оборудования в работу которого входит масляное охлаждение.

В отделении устанавливаются автоматическая система дренчерного орошения, для более эффективного пожаротушения и автоматическая система объёмного аэрозольного тушения (САТ). Система оповещения людей о пожаре с автоматическим управлением и возможностью реализации множества вариантов организации эвакуации из каждой зоны оповещения. Предусмотрена схема наружного и внутреннего пожарного водоснабжения с двумя независимыми вводами. На всех отметках размещено по несколько пожарных гидрантов. По всей территории на всех отметках установлены щиты с размещением первичных средств пожаротушения ЩП-В, а в местах с токоведущими проводниками ЩП-Е.

## 9 АВТОМАТИЗАЦИЯ КОТЛА ТГМП-114

В проекте разработана функциональная схема КИПиА. Схема вычерчена в соответствии с ГОСТ 21.404-85 и представлена в графической части проекта.

Надежная, экономичная и безопасная работа котельной с минимальным числом обслуживающего персонала может осуществляться только при наличии теплового контроля, автоматического регулирования и управления технологическими процессами, сигнализации и защиты оборудования [12].

Общими задачами контроля и управления любой энергетической установки, в том числе котла, является обеспечение:

- 1) Выработки в каждый момент времени необходимого количества теплоты (пара, горячей воды) при определенных параметрах;
- 2) Экономичности сжигания топлива, рационального использования электроэнергии для собственных нужд установки и сведения потерь теплоты к минимуму;
- 3) Надёжности и безопасности, то есть установление и сохранение нормальных условий работы каждого агрегата исключая возможность неполадок и аварий.

Схема автоматизации разработана со следующими принципами:

- 1) Параметры, наблюдение за которыми необходимо для правильного ведения технологического процесса на установленных режимах, измеряются показывающими приборами;
- 2) Параметры, изменение которых может привести к аварийным ситуациям, контролируются сигнализирующими приборами;
- 3) Параметры, учёт которых необходим для хозяйственных расчётов или анализа работы оборудования, контролируются самопишущими или интегрирующими приборами.

Задачей автоматического регулирования теплоисточника является поддержание температуры воды, подаваемой в теплосеть, на заданном уровне, определяемом в соответствии с отопительным графиком при экономичном сжигании используемого топлива, стабилизации основных параметров работы котельной [11].

В проекте применена система дистанционного и автоматического управления и безопасного розжига котла, разработанная ЗАО «ХК АМАКС», на базе контроллера КПС 19-06. Для этой цели котел комплектуется шкафом управления ШУКР и четырьмя шкафами управления горелок типа УСО-1. Вместо демонтируемых существующих панелей на ГрЩУ устанавливаются вновь спроектированные шкафы горелок, шкафы электропитания, шкафы мазута и шкафы ШУКР котлов №1 и №2. На месте существующих пультов управления оборудуется автоматизированное место (АРМ) машиниста котла. Существующие шкафы сборок задвижек сохраняются. Для управления шиберами воздуха и заслонками газа в существующие шкафы сборок задвижек устанавливаются соответствующие новые блоки задвижек типа БОЭ. Управление паромазутной арматурой горелок сохраняется существующим.

									Лист
									64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.036.12 ПЗ				

Система управления котлом предусматривает выполнение следующих функций:

- информационной(сбор, обработка и представление информации на экранах ШУКР и дисплее компьютера);
- автоматическое регулирование давления газа перед котлом, общего воздуха, разряжение в топке котла и температуры сетевой воды на выходе из котла;
- дистанционное управление арматурой блоков газооборудования со шкафов УСО-1.

В качестве первичных преобразователей аналоговых сигналов давления и расхода систем газоснабжения, горелочно-дымового и водяного трактов в проекте использованы датчики типа Метран-100МП с выходным сигналом 2-20мА. Питание – 36В датчиков осуществляется от блоков питания типа БП96/36-4/80, устанавливаемых в шкафах горелок и электропитания. В качестве первичных преобразователей сигналов температуры используются термопреобразователи сопротивления типа ТСПУ производства НПП «Дано-Терм».

Системой автоматического регулирования работы котла в проекте предусмотрено:

- автоматическое регулирование соотношения «газ-воздух» горелки по величине давления воздуха перед ней, поступающего в виде сигнала от датчика в шкаф управления котла ШУКР, с последующим воздействием на шибер воздуха горелки;
- автоматическое регулирование давления общего воздуха перед котлом с воздействием на направляющий аппарат дутьевого вентилятора;
- автоматическое регулирование разряжения в топке котла с воздействием на направляющий аппарат дымососа;
- автоматическое регулирование давления газа перед котлом по сигналу давления за поворотной регулирующей заслонкой;
- автоматическое регулирование тепловой нагрузки горелок (топливо газ) по сигналу температуры сетевой воды на выходе из котла.

Система технологических защит котла выполнена на базе дублированных процессоров шкафа ШУКР с воздействием на отключение подачи топлива к котлу и включает в себя следующие защиты [12]:

- Понижение давления воды после котла;
- Повышение температуры воды после котла;
- Понижение расхода воды через котел;
- Понижение разряжения в топке (с выдержкой времени);
- Резкое понижение разряжения в топке котла- хлопок в топке (без выдержки времени);
- Отключение электродвигателя дымососа;
- Отключение электродвигателя обоих дутьевых вентиляторов;
- Повышение (понижение) давления газа перед котлом;
- Понижение давления мазута перед котлом;
- Погасание факела в топке;

					13.03.01.2020.036.12 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65



- Система локальных технологических защит и блокировок реализует:
- Отключение горелки при погасании факела данной горелки;
- Запрет розжига котла без вентиляции топки;
- Запрет розжига горелок без проведения проверки плотности (опрессовки) арматуры блоков газооборудования горелки;
- Запрет открытия задвижки на газопроводе- отводе к котлу, если не закрыт ПЗК-1 хотя бы одной горелки;
- Отключение подачи топлива к горелке при понижении давления воздуха перед данной горелкой;
- Запрет подачи газа в первую разжигаемую горелку при наличии ложного сигнала от датчиков факела горелок;
- Запрет открытия ПЗК-2 при неоткрытом ПЗК-1;
- Открытие клапана свечи безопасности при закрытии ПЗК-1;
- Закрытие клапана свечи безопасности при открытом ПЗК-1;
- Запрет открытия ПЗК-2 при незакрытой регулирующей заслонке данной горелки;
- Запрет открытия ПЗК-2 в случае открытия заслонки газа, отличного от положения минимального расхода;
- Автоматическое (логическое) управление арматурой блоков газооборудования. В автоматическом режиме система обеспечивает реализацию технологических алгоритмов розжига работы и останова горелки с учетом требований безопасности;
- Дистанционное управление. Система управления позволяет производить дистанционное управление арматурой блоков газооборудования тумблерами со шкафов УСО-1(режим наладки или аварийный режим при обрыве информационной связи УСО-1 и ШУКР). В дистанционном режиме предусмотрена реализация основных локальных защит и блокировок горелок благодаря использованию в УСО-1 блока резервной защиты Б97 [12];

## 10 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Филиал «Ириклинская ГРЭС» АО «Интер – РАО – Электрогенерация» в настоящее время является ведущим предприятием по выработке тепловой энергии в Оренбургской области. Холдинг поставляет энергию крупным предприятиям в Башкирии, Казахстане, а так же в несколько областей на территории РФ. Возрастают затраты на топливо и ремонт оборудования. В связи с этим было принято решение о реконструкции РВП «А» котельного агрегата ТГМП-114.

### 10.1 Техничко-экономический расчет

Необходимо произвести расчёт затрат, связанных с установкой новой эффективной набивки, а также выявить разницу в текущих затратах до и после реконструкции.

#### 10.1.1 Капитальные затраты на реконструкцию РВП «А»

Выполним расчёт капитальных затрат на реконструкцию РВП «А» по формулам (10.1) и (10.2):

$$K = C_{наб} + C_{монт} + C_n \quad (10.1)$$

где  $C_{монт}$  – стоимость работ, связанных с заменой изношенной набивки РВП и монтажом усовершенствованной набивки, руб.;

$C_n$  – затраты на разработку проекта, транспортные затраты, затраты на погрузочно-разгрузочные работы и пуско-наладочные работы, руб.

Стоимость работ составляет 409,18 тыс. руб. [36], затраты на разработку проекта, транспортные затраты, затраты на погрузочно-разгрузочные работы и пуско-наладочные работы 539 тыс. руб. [36]

$$C_{наб} = C_{пакет.г.} \cdot n_г + C_{пакет.х.} \cdot n_х + C_{мат} \quad (10.2)$$

где  $C_{пакет.г.}$ ,  $C_{пакет.х.}$  – цена одного пакета горячего и холодного слоя;

$n_г$ ,  $n_х$  – количество пакетов горячего и холодного слоя,

$$n_х = 96 \text{ шт.}, n_г = 192 \text{ шт.}$$

Выбираем усовершенствованную набивку из углеродистой стали с нанесением эмали:

$$C_{пакет.г.} = 17,29 \text{ тыс. руб.}, \\ C_{пакет.х.} = 15,9 \text{ тыс. руб. [36]}$$

									Лист
									67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

13.03.01.2020.036.12 ПЗ

К дополнительным материалам отнесем:

1. Электроды УОНИ 13/55 3мм – по цене 8,13 тыс. руб. за 80 кг [36].
2. Шнур АОН 30мм – по цене 2,62 тыс. руб. за 20 кг [36].
3. Смазка жировая 1-13 – по цене 3,1 тыс. руб. за 28 кг [36].

Также дополнительно устанавливаются дополнительные крепления по цене 2,3 тыс. руб. за штуку (всего закупаем 144 крепления)[36].

$$C_{\text{мат}} = 8135 + 2627 + 3085 + 144 \cdot 2300 = 345,05 \text{ тыс. руб.}$$

$$C_{\text{наб}} = 17290 \cdot 192 + 15900 \cdot 96 + 345047 = 5191,13 \text{ тыс. руб.}$$

$$K = 5191,3 + 409,18 + 539,0 = 6139,3 \text{ тыс. руб.}$$

Все расчёты капитальных затрат сведём в таблицу 10.1

Таблица 10.1 – Капитальные затраты на реконструкцию РВП «А»

Статьи затрат	Сумма, тыс. руб.
1. Расходы на разработку проекта	146,30
2. Стоимость набивки	4846,14
3. Дополнительные материалы	345,05
4. Дополнительное оборудование: контрольно-измерительные приборы и автоматика	92,1
5. Затраты на демонтаж	150,00
6. Монтажные работы	167,08
7. Транспортные расходы	300
8. Пуско-наладочные работы	92,70
Итого капитальных затрат	6140,0

### 10.1.2 Расчет затрат после реконструкции

При расчёте текущих затрат необходимо учитывать, что расчёт должен производиться для двух вариантов: при работе парового котельного агрегата с РВП, имеющим изношенную набивку и при работе котла после реконструкции РВП.

В результате реконструкции РВП снизятся потери тепла с уходящими газами, следовательно, возрастет КПД котла и уменьшится расход топлива на 0,44 м<sup>3</sup>/ч.

Годовой расход топлива при эксплуатации котла до реконструкции определим по формуле (11.4):

$$\mathcal{E} = B \cdot T_z \cdot C_{\text{мон}}, \quad (10.3)$$

где  $B$  – расход топлива, м<sup>3</sup>/час;

$T_z$  – число часов работы котла за год, час;

$C_{\text{мон}}$  – цена топлива, руб./м<sup>3</sup>.

Расход топлива составляет 75377,7 м<sup>3</sup>/час (раздел 4 п.4), число часов работы котла за год 4200 час, цена топлива (природный газ) 4,08 руб./м<sup>3</sup> [36].

$$\mathcal{E}_1 = 75377,7 \cdot 4200 \cdot 4,08 = 1291672,27 \text{ тыс. руб./год}$$

Годовой расход топлива при эксплуатации реконструированного объекта, находим по формуле:

$$\mathcal{E}_2 = 74765,2 \cdot 4200 \cdot 4,08 = 1281762,28 \text{ тыс. руб./год}$$

где  $B = 74765,2 \text{ м}^3/\text{ч}$  – расход топлива (см. таблицу А.1).

Годовую экономию топлива найдем по формуле (10.4):

$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2, \quad (10.4)$$

$$\Delta \mathcal{E} = 1291672,27 - 1281762,28 = 10495,92 \text{ тыс. руб./год}$$

## 10.2 Срок окупаемости проекта

Срок окупаемости проекта рассчитывается по формуле (10.5):

$$T = \frac{K}{\Delta \mathcal{E}}, \quad (10.5)$$

С учетом ликвидационной стоимости 74400 кг стальной набивки, продаваемых по цене лома (7,50 руб. /кг) [36], формула (10.6) примет вид (10.6):

$$T = \frac{(K-L)}{\Delta \mathcal{E}}, \quad (10.6)$$

где  $L$  – ликвидационная стоимость, руб.

$$L = 7,5 \cdot 74400 = 558 \text{ тыс. руб.}$$

$$\frac{(6140 - 558)}{10495,9} = 0,53 \text{ года} = 6 \text{ месяцев } 10 \text{ дней}$$

Вывод: текущие расходы на эксплуатацию РВП меньше текущих затрат до реконструкции на 10495,9 тыс. руб. Это значительная экономия, в результате которой срок окупаемости составит 6 месяцев, что меньше  $T_n$ , ( $T_n$  – принятый за номинальный срок окупаемости равный 6,7 лет).

									Лист
									69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.036.12 ПЗ				

### 10.3 SWOT – анализ вариантов технического решения

Оценить возможные риски при реконструкции котельного агрегата позволит SWOT – анализ, который широко используется в стратегическом управлении и менеджменте.

SWOT – анализ является одновременно простым и качественным инструментом для оценки конкурентоспособности предприятия на рынке товаров и услуг.

В таблице 10.2 приведена оценка возможных рисков проведения реконструкции РВП.

Таблица 10.2 – SWOT – анализ проекта реконструкции РВП «А»

<p><b>S:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенный КПД котла – 95,4%;</li> <li>– увеличенный срок эксплуатации;</li> <li>– уменьшается расход топлива (значительная экономия);</li> <li>– возрастает тепловая мощность;</li> </ul>	<p><b>W:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– большие единовременные (капитальные) затраты;</li> <li>– простой оборудования во время реконструкции;</li> </ul>
<p><b>O:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– увеличение потребителей тепловой энергии;</li> </ul>	<p><b>T:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– рост инфляции;</li> <li>– недостаточная квалификация подрядной организации;</li> <li>– появление ещё более эффективных технологий;</li> </ul>

В таблице 10.3 приведена оценка возможных рисков без проведения реконструкции.

Таблица 10.3 – SWOT – анализ работы объекта до реконструкции РВП «А»

<p><b>S:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– отсутствуют материальные вложения и риски;</li> <li>– работа оборудования в штатном режиме, по графику;</li> <li>– нет потребности в компенсировании номинальных нагрузок другим заменяющим оборудованием;</li> </ul>	<p><b>W:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– невозможность обеспечить энергией новых потребителей</li> <li>– наличие на предприятии отработавшего свой ресурс оборудования, замена которого в ближайшем будущем на новое невозможна;</li> <li>– большой расход топлива (увеличение текущих затрат);</li> </ul>
<p><b>O:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– стабильный спрос на тепловую и электрическую энергию.</li> </ul>	<p><b>T:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– штраф за превышение ПДК;</li> <li>– рост инфляции.</li> </ul>

Вывод: реконструкция РВП «А» котла ТГМП-114 позволяет снизить вредное влияние на окружающую среду за счет снижения выбросов продуктов сгорания, повышает КПД котлоагрегата, а в следствии и полезную тепловую мощность установки в целом, которая даёт возможность подключения новых потребителей энергии.

Благодаря реконструкции происходит контроль снижения норм предельно-допустимых концентраций (ПДК) вредных выбросов в атмосферу и уменьшения количества промышленных стоков, а также затраты средств на собственные нужды.

Внедрение усовершенствованных технологий благоприятно скажется на будущей работе ГРЭС, так как после реконструкции появятся глубокие теоретические и практические навыки внедрения новых технологий, которые можно применить и на остальном оборудовании станции. Будет проходить тщательный контроль снижения норм предельно-допустимых концентраций (ПДК) вредных выбросов в атмосферу и уменьшения количества промышленных стоков, а также затраты средств на собственные нужды.

#### 10.4 Планирование целей предприятия и проекта

Дерево целей представляет собой структурную модель, которая показывает соподчиненность и связь целей подразделений в иерархии управления. Для его построения сверхзадача высшего уровня или миссия предприятия делится на проектные цели его подразделений и операционные цели исполнителей.

Цели предприятия – это конкретные показатели с конкретными значениями, которые должна достигнуть компания за плановый период.

Если будут четко расписаны цели организации, то проконтролировать их исполнение и ответить за их достижение не составит труда.

Преимущества формализованной постановки целей организации:

1. Если цели организации не сформулированы или непонятны, имеется опасность совершения действий, не соответствующих целям предприятия.

2. Формализация целей организации побуждает к их обсуждению внутри компании, что уменьшает риск непонимания или неполного понимания.

3. Если цели предприятия четко определены, возможные конфликты между ними могут быть с большей вероятностью обнаружены и устранены в процессе согласования целей.

4. Точное определение критериев оценки деятельности компании в целом необходимо во всех случаях, за исключением разве что случая, когда формализованное их объявление делается для "пропаганды", скрывающей истинные цели.

На рисунке 10.1 изобразим дерево целей проекта по реконструкции РВП «А» котлоагрегата ТГМП-114 энергоблока №4 на филиале «Ириклинская ГРЭС» АО «Интер – РАО – Электрогенерация».

						Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

13.03.01.2020.036.12 ПЗ

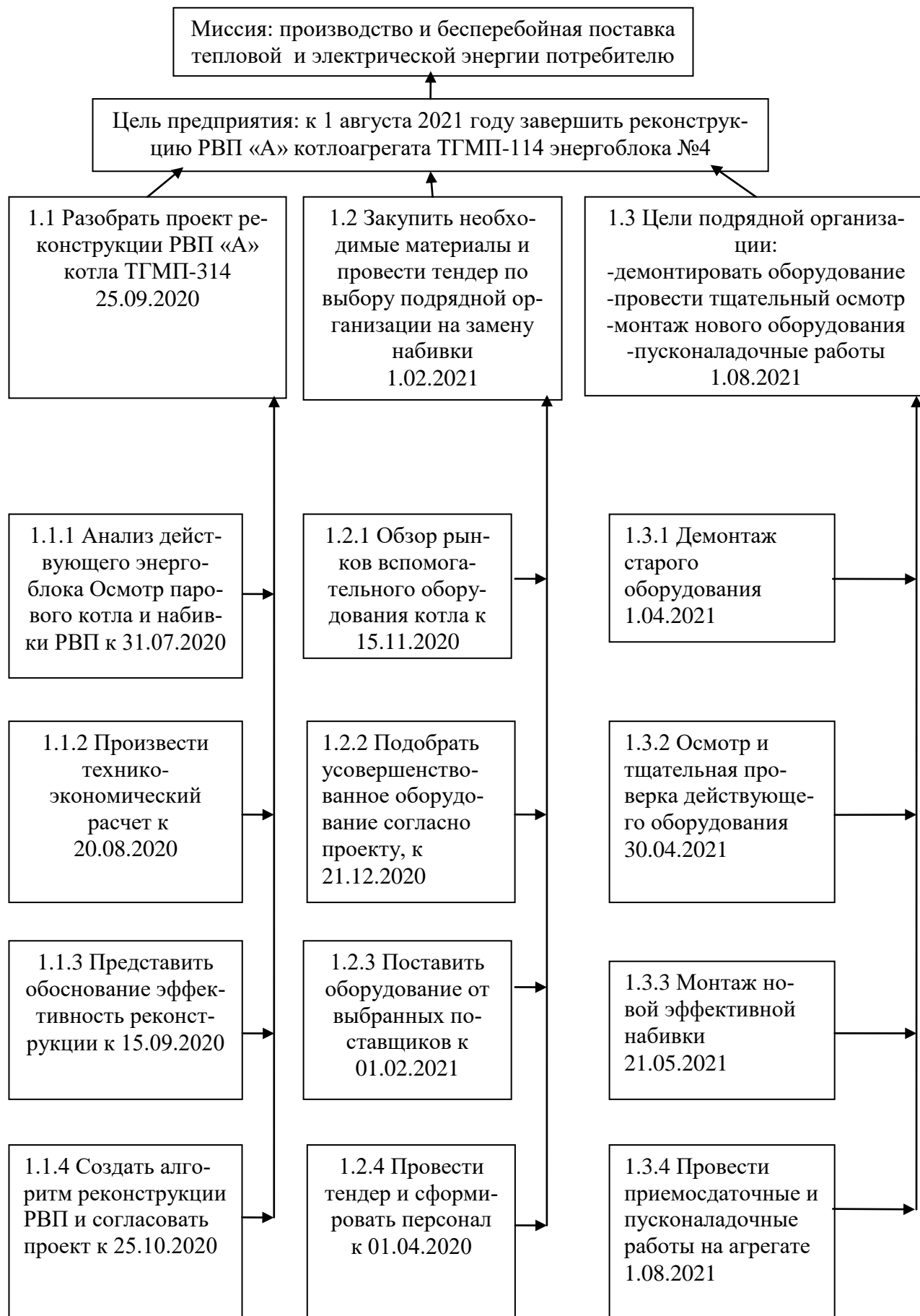


Рисунок 10.1 – Дерево целей проекта по реконструкции РВП «А»

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.01.2020.036.12 ПЗ

## 10.5 Планирование сметы текущих затрат

Калькуляция текущих затрат представлена в таблице 10.4.

Таблица 10.4 – Расчёт текущих затрат на энергетическое обслуживание

Показатели и статьи затрат	Единица измерения	Величина
1	2	3
Годовой расход топлива, $V$	м <sup>3</sup> /год	$3,16 \cdot 10^8$
Тариф на газ	руб./ м <sup>3</sup>	4,08 [36]
Топливо	млн. руб./год	$3,16 \cdot 10^8 \cdot 4,08 = 1291,67$
Основная и дополнительная зарплата эксплуатационных рабочих	млн. руб./год	64,92
Отчисления на социальные нужды	млн. руб./год	$0,39 \cdot 64,92 = 24,96$
Содержание и эксплуатация энергооборудования, включая его текущий ремонт, амортизацию, а также основную и дополнительную зарплату ремонтного персонала и отчисления на социальные нужды.	млн. руб./год	$0,01 \cdot 1291,67 + 24,96 + 0,39 \cdot 24,96 = 47,61$
Цеховые расходы, включая зарплату персонала управления, содержание и текущий ремонт цеховых зданий и сооружений, а также отчисления на социальные нужды.	млн. руб./год	$10,92 + 0,0025 \cdot 1291,67 + 0,39 \cdot 10,92 = 18,42$
Прочие производственные расходы	млн. руб./год	3,87
Итого затрат	млн. руб./год	1451,4
Годовой расход теплоты $Q_{год}$	Гкал/год	$252,8 \cdot 10^4$
Себестоимость 1 Гкал теплоты	руб./Гкал	$1451,4 \cdot 10^6 / 252,8 \cdot 10^4 = 574,1$



Окончание таблицы 10.4

1	2	3
Основная и дополнительная зарплата эксплуатационных рабочих	млн. руб./год	64,92
Отчисления на социальные нужды	млн. руб./год	$0,39 \cdot 64,92 = 24,96$
Содержание и эксплуатация энергооборудования, включая его текущий ремонт, амортизацию, а также основную и дополнительную зарплату ремонтного персонала и отчисления на социальные нужды.	млн. руб./год	$0,01 \cdot 1291,67 + 24,96 + 0,39 \cdot 24,96 = 47,61$
Цеховые расходы, включая зарплату персонала управления, содержание и текущий ремонт цеховых зданий и сооружений, а также отчисления на социальные нужды.	млн. руб./год	$10,92 + 0,0025 \times 1291,67 + 0,39 \cdot 10,92 = 18,42$
Прочие производственные расходы	млн. руб./год	3,87
Итого затрат	млн. руб./год	1451,4
Годовой расход теплоты $Q_{год}$	Гкал/год	$252,8 \cdot 10^4$
Себестоимость 1 Гкал Теплоты	руб./Гкал	$1451,4 \cdot 10^6 / 252,8 \cdot 10^4 = 574,1$

### 10.6 График Ганта

Комплекс выполняемых работ может быть показан в виде ленточного графика по этапам проектных работ. По этапам назначаются исполнители и ориентировочная продолжительность работ.

Персонал, осуществляющий контроль:

- инженеры проектного отдела;
- администрация предприятия в лице главного инженера, его заместителя и начальника КТЦ;
- отдел кадров (отвечает за подбор квалифицированных специалистов);

Ленточный график (график Ганта) представлен в таблице 10.5.

Таблица 10.5 – Ленточный график Ганта по реконструкции РВП «А»

Элемент работы	Исполнитель	Число исполнителей	2020 год, месяц		2021 год, месяц	
			07-09	10-12	01-04	05-07
1	2	3	4	5	6	7
Произвести анализ действующего энергоблока	Проектный отдел	5				
Произвести технико-экономический расчет	Проектный отдел	5				
Представить обоснование эффективности реконструкции	Проектный отдел	5				
Создать схему реконструкции РВП путём замены набивки на более эффективную	Проектный отдел	5				
Обзор рынков вспомогательного оборудования котла	Проектный отдел	5				
Подобрать вспомогательное оборудование согласно проекту	Проектный отдел	5				
Заключить договор на поставку вспомогательного оборудования с выбранными поставщиками	Административный отдел	4				
Подобрать квалифицированный персонал на обслуживание РВП	Отдел кадров	7				
Отобрать ремонтный персонал	Отдел кадров	7				
Демонтировать старое и установить новое оборудование	Подрядная организация	15				
Провести приемосдаточные испытания РВП, пуск котла	Начальник р.к.	6				

Вывод: после проведённой реконструкции РВП, существенно снизятся текущие затраты на топливо. Себестоимость 1 Гкал тепла составляет 574 руб./Гкал. Экологическая обстановка в связи с переходом на другой режим работы улучшится.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Федеральный закон от 23.11.2009 №261 – ФЗ (ред. от 13.07.2019) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» //Российская газета, 2019. – 44 с.

2 Федеральный закон от 27.07.2010 г. № 190-ФЗ (ред. От 18.07.2011). О теплоснабжении // Российская газета. Федеральный выпуск №5247 (168) от 30 июля 2010 г.

3 Федеральный закон от 21.07.2011 г. № 256-ФЗ. О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса// Российская газета. Федеральный выпуск №5537 (161) от 26 июля 2011 г.

4 ГОСТ 21.208-2013. СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – Введ. 2014–11–01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 31 с.

5 ГОСТ 12.1.038-82\* ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. – Введ. 1983–07–01. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 8 с.

6 ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введ. 1976–01–01 – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 4 с.

7 ГОСТ 12.1.030-81. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. – М: Государственный стандарт , 16.01.2015

8 ГОСТ 12.1.019-16. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М: Государственный стандарт СССР, 2016.

9 ГОСТ 12.4.011-89. Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. – М: Издательство стандартов, 2015.

10 ГОСТ 27322-87. Энергобаланс промышленного предприятия. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1987.

11 ГОСТ 31607-2012. Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. М.: Стандартинформ, 2013.

12 ГОСТ 31532-2012 Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения –М.: Госстандарт России, 2012.

13 ГОСТ Р 51750-2001. Энергосбережение. Методика определения энергоемкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах. – М.: Госстандарт России, 2001.

14 ГОСТ Р 55682.5-2013 Котлы водотрубные и котельно-вспомогательное оборудование. Часть 5. Конструктивное исполнение и технология производства частей котла, работающих под давлением. М.: Стандартинформ, 2014.

15 СНиП II-35-76 Свод правил. Котельные установки. Актуализированная редакция. – М: Минрегион России, 2012.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- 16 СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*. – М.: Минрегион России, 2012 – 113 с.
- 17 СП 89.13330. 2012. Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76 – М.: Минрегион России, 2012.
- 18 СП 89.13330. 2012. Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76 – М.: Минрегион России, 2012.
- 19 СТО 02494733 5.4-02-2006 Стандарт организации. Расчет тепловых схем котельных. – М: СантехНИИпроект, 2006.
- 20 Приказ Ростехнадзора от 25.03.2014 № 116Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением. – [http://www.rosteplo.ru/Npb\\_files/npb\\_shablon.php?id=1600](http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=1600)
- 21 Приказ Минтруда РФ от 17.08.2015 №551н Об утверждении правил по охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок. – <http://minjust.consultant.ru/documents/16380>
- 22 Алабугина, Р.А. Выпускная квалификационная работа: структура, требования к оформлению и нормоконтролю: методические указания/ Р.А. Алабугина. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2017. – 43 с.
- 23 Алабугин, А.А. Экономико-управленческая часть выпускных квалификационных работ для направления подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника»: Учебное пособие для бакалавров и магистрантов /А.А. Алабугин, Р.А. Алабугина. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2018. – 44 с.
- 24 Безопасность жизнедеятельности / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков. и др.; 7-е изд., стер.— М.: Высш. шк., 2007,— 616 с.: ил.
- 25 Бузников, Е.Ф. Производственные и отопительные котельные / Е.Ф. Бузников, К.Ф. Роддатис, Э.И. Берзиньш. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 248 с.: ил.
- 26 Бондалетова, Л.И. Расчет выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлоагрегатах котельных: Методическое пособие/ Л.И. Бондалетова, В.Т. Новиков, Н.А. Алексеев. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 39 с.
- 27 Данилов, О.Л. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: Учебник/ О.Л. Данилов, А.Б. Гаряев, Яковлев И.В. – М.: Изд-во МЭИ, 2010. – 451 с.
- 28 Грибанов, А.И. Расчет дымовой трубы: Методическое пособие./ А.И. Грибанов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 53с.
- 29 Кириллов, В.В. Расчет тепловых схем источников теплоснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие/ В.В. Кириллов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2013. – 79с.
- 30 Ривкин, С.Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара: Справочник./ С.Л. Ривкин, А.А. Александров. – М.: Энергоатомиздат, 2008 – 80 с.
- 31 Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник/ Е.Я. Соколов – М.: Изд-во МЭИ, 2012. – 472 с.

32 Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод/ Под ред. Н.В. Кузнецова. – 2-е. изд. перераб. и доп./ РЕПРИНТ. – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 296 с.

33 Пашнин С.В. Рекомендации по разработке раздела «Автоматического контроля и регулирование» в ВКР кафедры «Промышленная теплонергетика»: Учебное пособие для бакалавров и магистрантов / С.В. Пашнин. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2019. – 108 с.

34 Тарифы на газ. – <https://energovopros.ru/spravochnik/gazosnabzhenie/tarify-na-gaz>.

35 Единый расчетный центр – тарифы на тепловую энергию <https://www.erc.ur.ru/teplo.html>.

36 Стоимость материалов для проведения реконструкции РВП на 2020г. [http://www.novatek74.ru/netcat\\_files/userfiles/price2019.pdf](http://www.novatek74.ru/netcat_files/userfiles/price2019.pdf).

					<i>13.03.01.2020.036.12 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						78
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ВКР был предложен проект по реконструкции набивки регенеративного вращающегося подогревателя котлоагрегата ТГМП-114 филиала «Ириклинская ГРЭС» АО «Интер-РАО-Электрогенерации»

Был произведен тепловой расчёт котла, расчёт РВП, показаны плюсы предложенной модернизации. В разделе экологии были рассмотрены вопросы защиты окружающей среды и выполнен расчет дымовой трубы.

В разделе экономики был произведен технико-экономический расчет проекта и технической модернизации.

Также в дипломном проекте были рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности обслуживающего персонала и приведено краткое описание схемы автоматики.

					<i>13.03.01.2020.036.12 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		79

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### ПРИЛОЖЕНИЕ А

Расчёт котлоагрегата ТГМП-114 после реконструкции РВП «А».

В таблицу А.1 занесем данные по изменившемуся энтальпиям, после замены набивки на более совершенную, из-за изменения коэффициента избытка воздуха по газоходам и присосы воздуха.

Таблица А.1– Энтальпии продуктов сгорания

$t, ^\circ C$	$I_6^0$	$I_2^0$	$\alpha_m = 1,03$		$\alpha_{ш} = 1,06$		$\alpha_{кш-2} = 1,105$	
			$I$	$\Delta I$	$I$	$\Delta I$	$I$	$\Delta I$
100	349	299	357,9	365,1	366,9	374,2	380,4	387,8
200	705	602	723,1	379,3	741,1	388,5	768,2	402,5
300	1075	911	1102,3	380,3	1129,7	389,6	1170,7	403,6
400	1446	1221	1482,6	398,8	1519,3	408,5	1574,2	423,1
500	1835	1546	1881,4	399,7	1927,8	409,4	1997,3	424,0
600	2225	1870	2281,1	419,1	2337,2	429,2	2421,4	444,4
700	2634	2207	2700,2	418,1	2766,4	428,2	2865,7	443,4
800	3042	2544	3118,3	436,4	3194,6	446,9	3309,1	462,5
900	3468	2892	3554,8	436,4	3641,5	446,9	3771,7	462,5
1000	3894	3240	3991,2	447,7	4088,4	458,4	4234,2	474,4
1100	4331	3596	4438,9	447,7	4546,8	458,4	4708,6	474,4
1200	4768	3952	4886,6	440,9	5005,1	451,8	5182,9	468,1
1300	5198	4315	5327,5	439,9	5456,9	450,8	5651,1	467,1
1400	5627	4678	5767,3	480,1	5907,7	491,1	6118,2	507,6
1500	6096	5046	6247,3	479,0	6398,7	490,0	6625,8	506,6
1600	6564	5414	6726,4	476,1	6888,8	487,2	7132,4	503,9
1700	7029	5785	7202,5	476,1	7376,1	487,2	7636,4	503,9
1800	7494	6156	7678,6	480,2	7863,3	491,5	8140,3	508,4
1900	7963	6532	8158,9	480,2	8354,9	491,5	8648,8	508,4
2000	8432	6908	8639,2	485,3	8846,4	496,7	9157,3	513,7
2100	8906	7287	9124,6	485,3	9343,2	496,6	9671,1	513,6
2200	9308	7665	9609,9	-	9839,9	-	10184,8	-
2300	349	299	357,9	365,1	366,9	374,2	380,4	387,8
2400	705	602	723,1	379,3	741,1	388,5	768,2	402,5

В таблице А.2 занесем данные по изменившемуся энтальпиям из-за изменения коэффициента избытка воздуха по газоходам и присосы воздуха

Таблицы А.2– Энтальпии продуктов сгорания в КПП-1, экономайзере и РВП

$t, ^\circ\text{C}$	$I_6^0$	$I_2^0$	$\alpha_{\text{КПП-1}} = 1,135$		$\alpha_3 = 1,16$		$\alpha_{\text{РВП}} = 1,37$	
			$I$	$\Delta I$	$I$	$\Delta I$	$I$	$\Delta I$
100	349	299	389,4	396,9	396,84	404,5	459,6	468,1
200	705	602	786,3	411,7	801,32	419,4	927,7	484,3
300	1075	911	1197,9	412,9	1220,76	420,6	1412,0	485,7
400	1446	1221	1610,8	432,9	1641,36	441	1897,7	509,2
500	1835	1546	2043,7	433,7	2082,36	441,8	2407,0	509,8
600	2225	1870	2477,5	454,5	2524,2	462,9	2916,9	533,6
700	2634	2207	2931,9	453,5	2987,12	461,9	3450,5	532,6
800	3042	2544	3385,4	472,9	3449,04	481,7	3983,2	554,7
900	3468	2892	3858,4	472,9	3930,72	481,7	4538,0	554,7
1000	3894	3240	4331,4	485,1	4412,4	493,9	5092,8	568,7
1100	4331	3596	4816,5	485,1	4906,36	493,9	5661,5	568,7
1200	4768	3952	5301,5	479,1	5400,32	488,1	6230,2	564,3
1300	5198	4315	5780,5	478,1	5888,4	487,1	6794,5	563,3
1400	5627	4678	6258,5	518,68	6375,48	527,8	7357,8	605,1
1500	6096	5046	6777,21	517,6	6903,3	526,8	7963,0	602
1600	6564	5414	7294,9	515,0	7430,2	524,3	8567,1	600
1700	7029	5785	7809,9	515,0	7954,6	524,3	9169,4	600
1800	7494	6156	8325,1	519,7	8478,9	529,1	9771,7	606
1900	7963	6532	8844,8	519,7	9008,1	529,1	10379,4	606
2000	8432	6908	9364,5	525,1	9537,2	534,6	10987,9	612
2100	8906	7287	9889,7	525,0	10071,9	534,4	11602,1	612
2200	9308	7665	10414,7	-	10606,4	-	12216,0	-
2300	349	299	389,4	396,9	396,84	404,5	459,6	468,1
2400	705	602	786,3	411,7	801,32	419,4	927,7	484,3

Выполним тепловой расчет котельного агрегата поэтапно, начиная с самого котла.

В таблице А.3 показан расчет котла ТГМП-114, его конструктивные характеристики и особенности

Таблица А.3 – Расчет котельного агрегата

Рассчитываемые величины	Обозначения	Размерность	Формула или обоснование	Расчетные данные
1	2	3	4	5
Располагаемая теплота топлива	$Q_p^H$	ккал/кг	$Q_p^H$	8500
Температура уходящих газов	$\nu_{\text{х.в}}^0$	$^\circ\text{C}$	Задана	115
Энтальпия уходящих газов	$I_{\text{yx}}$	ккал/кг	По таблице Ривкина	529,8



Окончание таблицы А.3

Температура холодного воздуха	$t_{x.в}$	°C	Задана	30
Энтальпия холодного воздуха	$I_{x.в}^0$	ккал/кг	По таблице Ривкина	89,7
Потери теплоты:	-	-	-	-
– от химического недожога	$q_2$	%	По таблице 22.	0,5
– с уходящими газами	$q_3$	%	$\frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} \Delta I_{x.в}^0)(100 - q_4)}{Q_p^p}$	4,76
– в окружающую среду	$q_4$	%	По рис. 1	0,1
Сумма тепловых потерь	$\sum q$	%	$q_2 + q_3 + q_4$	5,36
КПД котельного агрегата	$\eta_{к.а}$	%	$1 - \sum q$	95,44
Расход первичного пара	$D$	т/ч	Задано	950
Давление перегретого пара за КА	$P$	кгс/см <sup>2</sup>	Задано	255
Давление перегретого пара за КА	$P$	кгс/см <sup>2</sup>	Задано	255
Температура перегретого пара за КА	$t_{n.n}$	°C	Задано	545
Энтальпия перегретого пара	$I_{n.n}$	ккал/кг	По таблице свойств воды и водяного пара	791,9
Давление питательной воды	$P_{п.в.}$	кгс/см <sup>2</sup>	Задано	
Температура питательной воды	$t_{п.в.}$	°C	Задано	260
Энтальпия питательной воды	$I_{п.в.}$	ккал/кг	По таблице свойств воды и водяного пара	265,5
Расход вторичного пара на входе в КА	$D_{в.т.}$	т/ч	Задано	720
Давление вторичного пара на входе в КА	$P'_{в.т.}$	МПа	Задано	39
Температура вторичного пара на входе в КА	$t_{в.т.}$	°C	Задано	310
Энтальпия вторичного пара на входе в КА	$i'_{вт}$	ккал/кг	По таблице свойств воды и водяного пара	715
Давление вторичного пара на входе в КА	$P''_{в.т.}$	МПа	Задано	37
Температура вторичного пара на входе в КА	$t''_{вт}$	°C	Задана	545
Энтальпия вторичного пара на входе в КА	$i''_{вт}$	ккал/кг	По таблице свойств воды и водяного пара	848
Теплота, полезно используемая в КА	$Q_{к.а}$	ккал/ч	$D(i_{nn} - i_{nv}) + D_{вт}(i''_{вт} - i'_{вт})$	606368
Полный расход топлива	$B$	нм <sup>3</sup>	$(Q_{ка} \cdot 100) / (Q_p^p \cdot \eta_{ка})$	75377,7
Коэффициент сохранения тепла	$\varphi$	-	$1 - q_5 / (\eta_{ка} + q_5)$	0,999

В таблице А.4 представим данные по тепловому расчету РВП и его конструктивные характеристики.

Таблица А.4– Тепловой расчет РВП

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или данные чертежей
1	2	3	4	5
Диаметр ротора	$D_{вн}$	мм	По конструктивным данным	6800
Количество воздухоподогревателей на котел	$n$	шт.	По конструктивным данным	4
Количество секторов	$n$	шт.	По конструктивным данным	24 ( 9 воздушных, 13 газовых, 2 отдельных)
Доли поверхности, омываемой газами	$x_г$	-	По конструктивным данным	$13/24=0,54$ 2
Доли поверхности, омываемой воздухом	$x_в$	-	По чертежу	$9/24=0,375$
Холодная часть				
Эквивалентный диаметр интенсифицированной набивки	$d_э$	мм	По конструктивным данным	9,8
Живое сечение для прохода газов	$F_Г$	м <sup>2</sup>	$0,785 \cdot D_{вн}^2 \cdot x_г \cdot K_p \cdot K_l \cdot n$	59,45
Живое сечение для проходов воздуха	$F_В$	м <sup>2</sup>	$0,785 \cdot D_{вн}^2 \cdot x_в \cdot K_p \cdot K_l \cdot n$	41,16
Поверхность нагрева	$H_x$	м <sup>2</sup>	$0,95 \cdot 0,785 \cdot D_{вн}^2 \cdot K_p \cdot C \cdot h \cdot n$	$2,9 \cdot 10^4$
Температура воздуха на входе	$t_{хв}$	°С	Задана	30
Энтальпия воздуха на входе	$I_{хв}^0$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-9 таблице	89,7
Отношение расходов воздуха на выходе из холодной части к теоретическому	$\beta''_{хч}$	-	$\alpha_m + 0,5 \cdot \alpha_{вн}$	1,15
Присос воздуха	$\Delta\alpha_{хч}$	-	По табл.	0,2
Температура воздуха на выходе	$t''_{нр}$	°С	принимаем	109
Энтальпия воздуха на выходе	$I_{нр}^0$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-9 таблице	326,3
Тепловосприятие ступени (по балансу)	$Q_{хч}^0$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$(\beta''_{хч} + \alpha_{хч}/2)(I_{нр}^0 - I_{хв}^0)$	295,75

Продолжение таблицы А.4

1	2	3	4	5
Температура газов на выходе	$\vartheta''_{yx}$	°C	Получена	108
Энтальпия газов на выходе	$I''_{yx}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-й таблице	513,7
Энтальпия газов на входе	$I'_{yx}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$I''_{yx} + \frac{Q_{xч}^{\beta}}{\varphi} - \Delta\alpha_{en} I_{xв}^0$	848,4
Температура газов на входе	$\vartheta'_{xч}$	°C	По I-й таблице	182,3
Средняя температура газов	$\vartheta_{cp}$	°C	$(\vartheta' - \vartheta''_{yx}) / 2$	144,5
Средняя температура воздуха	$t_{cp}$	°C	$(t_{xв} - t''_{np}) / 2$	69,5
Средний температурный напор	$\Delta t$	°C	$\vartheta_{cp} - t_{cp}$	75
Средняя температура стенки	$t_{ст}^{cp}$	°C	$\frac{(x_2 \vartheta_{cp} + x_6 t_{cp})}{(x_2 + x_6)}$	113,8
Средняя скорость газов	$\omega_2$	м/с	$\frac{B_p \cdot V_{zcp} \cdot (\vartheta_{cp} + 273)}{F_2 \cdot 3600 \cdot 273}$	7,04
Средняя скорость воздуха	$\omega_6$	м/с	$\frac{B_p V^0 \left( \beta''_{xч} + \frac{\Delta\alpha_{xч}}{2} \right) (t_{cp} + 273)}{F_6 \cdot 3600 \cdot 273}$	9,9
Коэффициент теплоотдачи от газа к стенке	$\alpha_2$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	$C_n C_{\phi} C_1 \alpha_n$	$0,9 \cdot 1,25 \cdot 1 \times 35,3 = 39,8$
Коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху	$\alpha_6$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	$C_n C_{\phi} "C_1 \alpha_n"$	$0,9 \cdot 1,14 \cdot 1 \times 44 = 45,3$
Коэффициент использования	$\zeta$	-	Принято	0,85
Коэффициент теплопередачи	$k$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	$\zeta / 1 / ((x_2 \cdot \alpha_2) + 1 / (x_6 \cdot \alpha_6))$	9,42
Тепловосприятие горячей части	$Q_{xч}^m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{kH\Delta t}{B}$	285,1
Отношение тепловосприятий	$\frac{Q_{xч}^m}{Q_{xч}^{\beta}}$	%	$\frac{Q_{xч}^m}{Q_{xч}^{\beta}} \cdot 100$	$\frac{285,1}{295,8} \cdot 100 = 96,2$
Горячая часть				
Эквивалентный диаметр интенсифицированной набивки	$d_3$	мм	По конструктивным данным	9,6
Живое сечение для прохода газов	$F_2$	м <sup>2</sup>	$0,785 \cdot D_{en}^2 \cdot x_2 \cdot K_p \cdot K_d \cdot n$	58,3

Продолжение таблицы А.4

1	2	3	4	5
Живое сечение для прохода воздуха	$F_g$	м <sup>2</sup>	$0,785 \cdot D_{вн}^2 \cdot x_z \cdot K_p \cdot K_l \cdot n$	40,35
Высота набивки	$h_x$	м	По конструктивным данным	1,31
Поверхность нагрева	$H_x$	м <sup>2</sup>	$0,95 \cdot 0,785 \cdot D_{вн}^2 \cdot K_p \cdot C \cdot h \cdot n$	53422
Температура воздуха на входе	$t_{хв}$	°С	Из расчета холодной части	109
Энтальпия воздуха на входе	$I_{хв}^0$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-9 таблице	326,3
Отношение расходов воздуха на выходе	$\beta''_{зч}$	-	$\beta''_{зч} = \beta''_{хч}$	1,15
Температура воздуха на выходе	$t''_{зч}$	°С	Принимаем	282
Энтальпия воздуха на выходе	$I''_{зч}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-9 таблице	856,4
Тепловосприятие ступени (по балансу)	$Q_{зч}^{\delta}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\left( \beta''_{хч} + \frac{\Delta\alpha_{зч}}{2} \right) \cdot (I''_{зч} - I_{np}^0)$	663,6
Температура газов на выходе	$\vartheta_{хч}$	°С	Из расчета холодной части	182,3
Энтальпия газов на выходе	$I_{yx}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета холодной части	843,8
Энтальпия газов на входе	$I_{зч}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$I_{yx} + \frac{Q_{зч}^{\delta}}{\varphi} - \Delta\alpha_{зч} \cdot I_{np}^0$	1648,6
Температура газов на входе	$\vartheta_{зч}$	°С	По I-9 таблице	349,4
Средняя температура газов	$\vartheta_{зч}^{cp}$	°С	$(\vartheta + \vartheta_{yx}) / 2$	263,2
Энтальпия воздуха на выходе	$I''_{зч}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-9 таблице	856,4
Тепловосприятие ступени (по балансу)	$Q_{зч}^{\delta}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\left( \beta''_{хч} + \frac{\Delta\alpha_{зч}}{2} \right) \cdot (I''_{зч} - I_{np}^0)$	663,6
Температура газов на выходе	$\vartheta_{хч}$	°С	Из расчета холодной части	182,3
Энтальпия газов на выходе	$I_{yx}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета холодной части	843,8
Энтальпия газов на входе	$I_{зч}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$I_{yx} + \frac{Q_{зч}^{\delta}}{\varphi} - \Delta\alpha_{зч} \cdot I_{np}^0$	1648,6
Температура газов на входе	$\vartheta_{зч}$	°С	По I-9 таблице	349,4
Средняя температура газов	$\vartheta_{зч}^{cp}$	°С	$(\vartheta + \vartheta_{yx}) / 2$	263,2
Средняя температура воздуха	$t_{зч}^{cp}$	°С	$(t''_{зч} + t''_{np}) / 2$	195,5
Средняя температура воздуха	$t_{зч}^{cp}$	°С	$(t''_{зч} + t''_{np}) / 2$	195,5
Разница температур сред	$\Delta t_m$	°С	$\vartheta_{зч} - t''_{зч}$	67,5

Продолжение таблицы А.4

1	2	3	4	5
Средний температурный напор	$\Delta t$	°C	$\frac{(\Delta t_{\delta} - \Delta t_m)}{\left(2,3 \cdot \lg \left(\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}\right)\right)}$	69,4
Средняя температура стенки	$t_{cm}^{cp}$	°C	$\frac{(x_2 g_{cp} + x_8 t_{cp})}{(x_2 + x_8)}$	237,2
Средняя скорость газов	$\omega_2^{cp}$	м/с	$\frac{B_p \cdot V_{zcp} \cdot (g_{cp} + 273)}{F_2 \cdot 3600 \cdot 273}$	9,32
Средняя скорость воздуха	$\omega_6^{cp}$	м/с	$\frac{B_p \cdot V^{\circ} \left( \beta_{xч}'' + \frac{\Delta \alpha_{xч}}{2} \right) (t_{cp} + 273)}{F_2 \cdot 3600 \cdot 273}$	9,71
Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	$\alpha_2$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	$C_n \cdot C_{\phi} \cdot C_l \cdot \alpha_n$	$1,6 \cdot 1,095 \times \times 1 \cdot 40 = 70,1$
Коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху	$\alpha_8$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	$C_n \cdot C_{\phi} \cdot C_l \cdot \alpha_n$	$1,6 \cdot 0,99 \cdot 1 \times \times 44 = 69,4$
Коэффициент использования	$\xi$	-	Принимаем	0,85
Коэффициент теплопередачи	$k$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	$\frac{\xi}{\frac{1}{(x_2 \cdot \alpha_2)} + \frac{1}{(x_8 \cdot \alpha_8)}}$	15,43
Тепловосприятие горячей части (по уравнению теплопередачи)	$Q_{zч}^m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{kH \Delta t}{B}$	645
Отношение тепловосприятий	$\frac{Q_{zч}^m}{Q_{\delta}^m}$	%	$\frac{Q_{zч}^m}{Q_{\delta}^m} \cdot 100$	98,43

В таблице А.4 приведём расчёт топочной камеры.

Таблица А.4 Расчёт топочной камеры

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Итог
1	2	3	4	5
Объемы топки	$V_m$	м <sup>3</sup>	По конструктивным данным	3440
Поверхность стен	$F_{cm}$	м <sup>2</sup>	По конструктивным данным	2028
Лучистая поверхность	$H_l$	м <sup>2</sup>	По чертежу	1992

Продолжение таблицы А.4

1	2	3	4	5
Энтальпия в отборе	$I_{отб}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I – 9 таблице	1648,6
Теплота рециркуляции и газов	$Q_{рец}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$r \cdot I_{отб}$	164,86
Тепло, вносимое в топку с воздухом	$Q_в$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$(\alpha_m - \Delta\alpha_m) \cdot I_{зв} + \Delta\alpha_m \cdot I_{зв}^0$	874,8
Полезное тепло, выделяемое в топочной камере	$Q_m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{Q_p^p \cdot (100 - q_3 - q_4 - q_6)}{(100 - q_4) + Q_a}$	9341,5
Теоретическая температура	$\vartheta_a$	°C	По I – 9 таблице	2143
Температура газов на выходе	$\vartheta_m''$	°C	Расчётная	1302
Энтальпия газов на выходе	$I_m''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I – 9 таблице	5688
Эффективная толщина излучающего слоя	$S$	м	$3,6 \frac{V_m}{F_m}$	6,1
Произведение	$p_n s$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	$\rho \cdot r_n \cdot s$	1,73
Коэффициент ослабления лучей RO <sub>2</sub>	$K_z$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	Номограмма 2	0,24
Оптическая толщина	$kps$	-	$K_r \cdot p_n s$	0,41
Степень черноты факела	$a_z$	-	Номограмма 17	0,34
Коэффициент тепловой эффективности гладкотрубных экранов	$\Psi_{экр}$	-	По таблице	0,65
Степень черноты топочной камеры	$a_m$	-	$\frac{a_\phi}{(a_\phi + (1 - a_\phi) g \Psi_{экр}}$	0,44
Относительное максимальное положение температур по высоте факела	$X_m$	-	$\frac{h_z}{H_m}$	0,146
Коэффициент, учитывающий относительное положение ядра факела	$M$	-	$0,54 - 0,2 \cdot X_m$	0,5
Средняя суммарная теплоемкость	$Vc_{cp}$	-	$\frac{Q_m - I_m''}{\vartheta_a - \vartheta_m''}$	4,35
Температура газов на выходе из топочной камеры	$\vartheta_m''$	°C	$M \cdot \frac{( \vartheta_a + 273 ) \cdot 4,19 \cdot 10^{-8} \cdot \Psi_{экр} \cdot F_{ст} \cdot a_m \cdot ( \vartheta_a + ( \varphi \cdot B_p \cdot Vc_{cp} )^{0,6} + 1 )}{( \vartheta_a + 273 )}$	1266
Энтальпия газов на выходе из топочной камеры	$I_m''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I – 9 таблице	5304
Тепловосприятие в топке	$Q_l^m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\varphi \cdot (Q_m - I_m'')$	4037

Окончание таблицы А.4

1	2	3	4	5
Средняя тепловая нагрузка лучевоспринимающей поверхности нагрева	$q_l$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$	$\frac{B \cdot Q_l^m}{H_l}$	15244 4,4
Теплонапряжение топчного объема (до ширм)	$q_v$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{ч}}$	$\frac{B \cdot Q_n^p}{V_m}$	18625 1,3

В таблице А.5 представим расчёт ширмы

Таблица А.5– Тепловой расчёт ширмы

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Итог
1	2	3	4	5
Диаметр и толщина труб	$\frac{d_n}{d_{cm}}$	мм	По конструктивным данным	32/6
Эффективная толщина газового слоя	$s$	м	По конструктивным данным	0,973
Поверхность нагрева ширм	$H_{ul}$	м <sup>2</sup>	По конструктивным данным	1443
Эквивалентный диаметр	$d_{эkv}$	мм	По конструктивным данным	1,38
Лучевоспринимающая поверхность входного сечения	$H_{ex}$	м <sup>2</sup>	По конструктивным данным	435,2
Температура газов перед ширмами	$\vartheta'$	°С	из расчета топки	1266,7
Энтальпия газов перед ширмами	$I'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I – 9 таблице	5179,1
Температура газов на выходе из ширм	$\vartheta''$	°С	Принимаем	1001
Энтальпия газов на выходе из ширм	$I''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I – 9 таблице	3995,6
Тепловосприятие в ширмах и дополнительных поверхностях по балансу	$Q_6$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\varphi(I' - I'')$	1183,5
Коэффициент теплообмена ширм с топкой	$\beta$	-	По рис. 6-4	0,45
Коэффициент распределения тепловой нагрузки по высоте топки	$\eta_6$	-	По рис. 13 из нормативного метода	0,6
Тепловое напряжение поверхностей нагрева ширм	$q_{л.ш}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$	$\beta \cdot \eta_6 \cdot q_l$	41163,5
Лучистое тепло, воспринятое плоскостью входного сечения ширм	$Q_{л.вх}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$	$\frac{q_{л.ш} \cdot H_{ex}}{B}$	237,6

Продолжение таблицы А.5

1	2	3	4	5
Поправочный коэффициент для учета излучения ширм на экраны за ширмами	$\xi_n$	-	Из нормативного метода	0,7
Угловой коэффициент с входного на выходное сечение ширм	$\varphi_{ш}$	-	$\frac{\left( \left( \frac{l}{S_1} \right)^2 + l \right)^{0.5}}{S_1}$	0,1
Средняя температура газов	$\vartheta_{cp}$	°C	$\frac{g' + g''}{2}$	1133,85
Коэффициент ослабления лучей RO2	$K_2$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	Номограмма 2	1,1
Произведение	$\rho_n \cdot s$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	$\rho \cdot r_n \cdot s$	0,3
Оптическая толщина	$kps$	-	$K_2 \cdot \rho \cdot r_n \cdot s$	0,32
Степень черноты газов	$a_2$	-	Номограмма 17	0,3
Лучевоспринимающая поверхность нагрева пучка, находящегося за ширмами	$\Psi_{экр}$	-	По конструктивным данным	345,2
Теплота излучения из топки и ширм на поверхность за ширмами	$Q_{л.вых}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{(Q_{л.вх} \cdot (1 - \alpha) \varphi_{ш})}{\beta} + \frac{(1,9 \cdot 10^{-8} \cdot \alpha \cdot H_{вых} T_{cp}^4 \cdot \xi_n)}{B_p}$	77,5
Теплота, полученная из топки ширмами и доп. поверхностями	$Q_{л.ли} + доп$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$Q_{л.вх} - Q_{л.вых}$	160,1
Лучевоспринимающая поверхность ширм	$H_{л.ш.}$	м <sup>2</sup>	По конструктивным данным	400,25
Дополнительная лучевоспринимающая поверхность	$H_{л.доп}$	м <sup>2</sup>	По конструктивным данным	34,95
Количество тепла, полученного из топки ширмами	$Q_{л.ш}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{Q_{ли+доп} \cdot H_{ли}}{H_{ли} + H_{л.доп}}$	147,2
Собственные ширмы	$Q_{б.ш}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Принимаем	980
Дополнительных поверхностей	$Q_{б.доп}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Принимаем	84
Расход воды на впрыск	$D_{впр1}$	т/ч	Задано	10
Температура пара перед первым впрыском	$t_{впр1}$	°C	Принимаем	410
Энтальпия	$i_{впр1}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По таблице свойств воды и водяного пара	618,5



Окончание таблицы А.5

1	2	3	4	5
Снижение энтальпии пара после первого впрыска	$\Delta i'_{впр1}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{D_{впр1}(i'_{впр1} - i_{нн})}{D_{нн} - D_{впр1}}$	3,81
Температура на входе ширмы (после первого впрыска)	$t' = t''_{впр1}$	$^{\circ}\text{C}$	По таблице свойств воды и водяного пара	409
Прирост энтальпии пара в ширмах	$\Delta i$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{(Q_{\delta.ш} + Q_{л.ш})B_p}{(D_{нн} - D_{впр1})g \cdot 1000}$	90,4
Энтальпия пара после ширм	$i''_{ш}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$i' + \Delta i$	705,1
Температура пара после ширм	$t''_{ш}$	$^{\circ}\text{C}$	По таблице свойств воды и водяного пара	462,4
Средняя температура пара	$t_{cp}$	$^{\circ}\text{C}$	$\frac{t' + t''_{ш}}{2}$	435,7
Температурный напор	$\Delta t$	$^{\circ}\text{C}$	$g_{cp} - t_{cp}$	698,15
Средняя скорость газов	$\omega_r$	м/с	$\frac{B_p \cdot V_z \cdot (g_{cp} + 273)}{3600 \cdot 273 \cdot F_z}$	3,12
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$a_k$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	По номограмме 13-2	16
Коэффициент теплопередачи от газов к стенке	$a_1$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	$\xi \cdot \frac{a_k \cdot \pi \cdot d}{(2 \cdot S_2 \cdot x)} + a_l$	70,3
Коэффициент теплопередачи	$K$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	$\frac{a_1}{(1 + (1 + \frac{Q_{л.ш}}{Q_{\delta.ш}})) \cdot \varepsilon \cdot a_1}$	70,2
Тепловосприятие (по уравнению теплопередачи)	$Q_{m.ш}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$(K \cdot H_{ш1} \cdot \Delta t) / B_p$	942,97
Отношение тепловосприятий	$\frac{Q_{m.ш}}{Q_{\delta.ш}}$	%	$\left(\frac{Q_{m.ш}}{Q_{\delta.ш}}\right) 100$	96,9
Тепловосприятие доп. Поверхностей по уравнению теплопередачи	$Q_{m.дон}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{K \cdot H_{дон1} \cdot (g_{cp} - t)}{B_p}$	92,5 ит
Отношение тепловосприятий	$\frac{Q_{m.дон}}{Q_{\delta.дон}}$	%	$\left(\frac{Q_{m.дон}}{Q_{\delta.дон}}\right) 100$	$84,3/86,3 \times 100 = 97,68$

Мы рассчитали топочную камеры, регенеративный воздухоподогреватель и ширмы, далее нам необходимо произвести расчет объема над ширмами. В таблице А.6 расчёт объема над ширмами.

Таблица А.6 – Тепловой расчёт объёма над ширмами

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Итог
1	2	3	4	5
Поверхность стен	$F_{cm}$	м <sup>2</sup>	По конструктивным данным	460
Объём на ширмами	$V$	м <sup>3</sup>	По конструктивным данным	286,4
Эффективная толщина излучающего слоя	$s$	м	$\frac{3,6 \cdot V_m}{F_{cm}}$	$3,6 \cdot 286,4 / 460 = 2,241$
Температура газов за ширмами	$\vartheta'$	°С	Из расчета ширм	1001
Энтальпия	$I'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета ширм	3995,6
Температура газов за объемом над ширмами	$\vartheta''$	°С	Посчитано	956
Энтальпия	$I''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I – 9 таблице	3798,6
Средняя температура газов	$\vartheta_{cp}$	°С	$(\vartheta' + \vartheta'') / 2$	978,5
Коэффициент ослабления лучей RO <sub>2</sub>	$K_r$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	Номограмма 2	0,55
Произведение	$p_n s$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	$\rho \cdot r_n \cdot s$	0,592
Оптическая толщина	$kps$	-	$K_z \cdot p_n s$	0,325
Степень черноты газов	$a_r$	-	Номограмма 17	0,29
Количество тепловосприятия объема по балансу	$Q_6$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\varphi \cdot (I' - I'')$	197
Температура пара за объемом над ширмами	$t''_{об}$	°С	Принимаем	401,2
Энтальпия	$I''_{об}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I – 9 таблице	578,3
Прирост энтальпии	$\Delta i$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{(Q_6 + Q_{л.вых}) \cdot B_p}{(D_{nn} - D_{впр1}) \cdot 1000}$	23
Энтальпия пара на входе в фронтной потолочный экран	$i'_{об}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$I''_{об} + \Delta i$	601,3
Температура пара на входе в фронтной потолочный экран	$t'_{об}$	°С	По таблице свойств воды и водяного пара	405,4
Средняя температура пара	$t_{cp}$	°С	$\frac{t' - t''}{2}$	403,3

Окончание таблицы А.6

1	2	3	4	5
Температурный напор	$\Delta t$	$^{\circ}\text{C}$	$\vartheta - t$	575,2
Температура наружной поверхности загрязнений	$t_3$	$^{\circ}\text{C}$	$t_{cp} + 25$	428,3
Коэффициент теплоотдачи излучением	$a_d$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	Номограмма 18	205
Коэффициент теплопередачи	$K$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	По таблице	85,1
Тепловосприятие по уравнению теплопередачи	$Q_T$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{K \cdot H \cdot (\vartheta - t)}{B_p}$	194,86
Отношение тепловосприятий	$\frac{Q_T}{Q_B}$	%	$\left( \frac{Q_T}{Q_B} \right) \cdot 100$	194,86/196,3=99,27

Поворотная камера. Расчёт поворотной камеры произведем в таблице А.7

Таблица А.7 – Тепловой расчёт поворотной камеры

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Итог
1	2	3	4	5
Поверхность стен	$F_{\text{ст}}$	$\text{м}^2$	По конструктивным данным	608
Объем поворотной камеры	$V$	$\text{м}^3$	По конструктивным данным	1322,6
Поверхность подвесных труб	$H_{\text{под}}$	$\text{м}^2$	По конструктивным данным	159,5
Поверхность нагрева экранов поворотной камеры	$H_{\text{экp}}$	$\text{м}^2$	По конструктивным данным	488,6
Эффективная толщина излучающего слоя	$s$	$\text{м}$	$3,6 \cdot V_m / F_m$	7,83
Температура газов на входе	$\vartheta'$	$^{\circ}\text{C}$	Из расчета объема над ширмами	956
Энтальпия газов на входе	$I'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета объема над ширмами	3798,6
Температура газов за поворотной камерой	$\vartheta''$	$^{\circ}\text{C}$	Посчитано	882
Энтальпия газов за поворотной камерой	$I''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-9 таблице	3475,3
Средняя температура газов	$\vartheta_{cp}$	$^{\circ}\text{C}$	$(\vartheta' + \vartheta'') / 2$	919
Количество восприятия объема по балансу	$Q_b$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\varphi g(I' - I'')$	323,3
Средняя температура пара	$t_{cp}$	$^{\circ}\text{C}$	$((t'_{\text{сп1}} + t''_{\text{об}}) / 2)$	403,2

Окончание таблицы А.7

1	2	3	4	5
Поглощающая способность $RO_2$	$p_n s$	$\frac{м \cdot кгс}{см^2}$	$p \cdot r_n \cdot S$	2,3
Коэффициент ослабления лучей $RO_2$	$K_z$	$\frac{м \cdot кгс}{см^2}$	Номограмма 2	0,52
Оптическая толщина	$kps$	-	$K_z \cdot p_n \cdot s$	1,32
Степень черноты газов	$a_z$	-	Номограмма 17	0,73
Коэффициент теплоотдачи излучением	$a_l$	$\frac{ккал}{м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C}$	Номограмма 18	78,2
Тепловосприятие экранов ПК	$Q_m^{экр}$	$\frac{ккал}{нм^3}$	$a_l \cdot H \cdot (g - t) / B$	249,6
Скорость газов при продольном омывании труб	$\omega_2^{нод}$	м/с	$\frac{B_p \cdot V_z \cdot (g_{cp} + 273)}{F_z \cdot 3600 \cdot 273}$	9,61
Средняя температура среды в подвесных трубах	$t''_{cp}$	$^\circ C$	Посчитано	434
Температура наружной поверхности загрязнений	$t_3$	$^\circ C$	$t_{cp} + 25$	460
Тепловосприятие подвесных труб	$Q_m^{нод}$	$\frac{ккал}{нм^3}$	$\frac{a_l \cdot H_{нод} \cdot (g_{cp} - t_3)}{B}$	76,05
Суммарное тепловосприятие экранов и подвесных труб	$\Sigma Q_m$	$\frac{ккал}{нм^3}$	$Q_m^{экр} + Q_m^{нод}$	322,15
Отношение тепловосприятий	$Q_m / Q_б$	%	$(Q_m / Q_б) \cdot 100$	323,25/323,5 $\times$ 100=99,9

Далее рассчитаем конвективный пароперегреватель высокого давления в таблице А.8

Таблица А.8– Расчёт КПП ВД

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Итог
1	2	3	4	5
Диаметр и толщина труб	$d_n / b_{cm}$	мм	По конструктивным данным	32/6
Эффективная толщина газового слоя	$s$	м	По конструктивным данным	0,226
Поверхность нагрева	$H$	м <sup>2</sup>	По конструктивным данным	2192
Число рядов по ходу газа	$z$	-	По конструктивным данным	12
Продольный шаг	$\sigma_1$	-	$s_1 / d_1$	140/32= =4,38

Продолжение таблицы А.8

1	2	3	4	5
Сечение для прохода газов	$F_2$	м <sup>2</sup>	По конструктивным данным	119,8
Температура газов на входе	$\vartheta'$	°С	Из расчета поворотной камеры	882
Энтальпия газов на входе	$I'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета поворотной камеры	3475,3
Температура пара перед 2-м впрыском	$t'_{\text{впр}2}$	°С	$t''_{\text{и}}$	462,4
Энтальпия пара после ширм	$i'_{\text{впр}2}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$i''_{\text{и}}$	705,1
Снижение энтальпии после 2-го впрыска	$\Delta i_{\text{впр}2}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{D_{\text{впр}2} \cdot (I'_{\text{впр}2} - I_{\text{нс}})}{(D_{\text{м}} - D_{\text{впр}2})}$	2,31
Энтальпия пара после 2-го впрыска	$i''_{\text{впр}2}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$i'_{\text{впр}2} - \Delta i_{\text{впр}2}$	703
Температура пара после второго впрыска	$t''_{\text{впр}2}$	°С	По табл. воды и вод. пара	453
Температура пара на выходе	$t_{\text{кпп}}$	°С	Задано	545
Энтальпия пара на выходе	$i_{\text{кпп}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По табл. воды	792,6
Прирост энтальпии	$\Delta i$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{Q_{\text{б}} B}{(D - D_{\text{впр}2}) 1000}$	33,9
Тепловосприятие по балансу	$Q_{\text{б}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\varphi(I' - I'')$	426,3
Тепловосприятие подвесных труб	$Q_{\text{под}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Принимаем	20
Тепловосприятие КПП ВД по бал.	$Q_{\text{кп}}^{\text{б}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Принимаем	536
Энтальпия газов на выходе из КПП ВД	$I''_{\text{кпп}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-9 таблице	3047,4
Температура газов на выходе из КПП ВД	$\vartheta''_{\text{кпп}}$	°С	Посчитано	741,5
Средняя температура газов	$\vartheta_{\text{ср}}$	°С	$(\vartheta' + \vartheta'')/2$	811,5
Средняя температура пара	$t_{\text{ср}}$	°С	$(t'_{\text{м}} + t''_{\text{кпп}})/2$	500
Разница температур сред	$\Delta t_{\text{б}}$	°С	$\vartheta'_{\text{хч}} - t_{\text{хч}}$	428,3
Разница температур сред	$\Delta t_{\text{м}}$	°С	$\vartheta'_{\text{гч}} - t''_{\text{гч}}$	194,7
Средний температурный напор	$\Delta t$	°С	$\frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{2,3 \cdot \lg \left( \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}} \right)}$	298,6
Скорость газов	$\omega_2$	м/с	$\frac{B_p \cdot V_2 \cdot (\vartheta_{\text{ср}} + 273)}{F_2 \cdot 3600 \cdot 273}$	7,74

Окончание таблицы А.8

1	2	3	4	5
Коэффициент теплоотдачи	$a_k$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	Номограмма 10	64
Температура наружной поверхности загрязнений	$t_3$	$\text{°C}$	$t_{cp} + 25$	525
Коэффициент ослабления лучей RO2	$K_2$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	Номограмма 2	2
Поглощающая способность RO2	$p_n s$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	$\rho \cdot r_n \cdot S$	0,061
Оптическая толщина	$kps$	-	$K_2 p_n s$	0,122
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$a_z$	-	Номограмма 13	37
Коэффициент теплоотдачи излучением	$a_l$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	Номограмма 18	12,3
Коэффициент теплопередачи	$K$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	$\xi \cdot (a_k + a_l)$	46,8
Тепловосприятие КПП ВД	$Q_{кпп}^m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$K \cdot H_{кпп} \cdot \Delta t / B$	407,5
Тепловосприятие подвесных труб	$Q_{под}^m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$K \cdot H_{под} \cdot \Delta t / B$	12,2
Отношение тепловосприятий	$Q_m / Q_0$	%	$(Q_m / Q_0) \cdot 100$	$419,7/426,3 \times 100 = 98,4$

Далее рассчитаем конвективный пароперегреватель низкого давления второй степени в таблице А.9.

Таблица А.9 – Расчёт КПП НД-2

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Итог
1	2	3	4	5
Диаметр и толщина труб	$d_n / b_{cm}$	мм	По конструктивным данным	45/4,5
Эффективная толщина излучающего слоя	s	м	По конструктивным данным	0,207
Поверхность нагрева подвесных труб	$H_{под}$	$\text{м}^2$	По конструктивным данным	75,2
Поверхность нагрева	$H$	$\text{м}^2$	По конструктивным данным	3080
Продольный шаг	$\sigma_1$	-	$s_1 / d_1$	$140/32 = 4,34$
Поперечный шаг	$\sigma_2$	-	$s_2 / d_2$	$69,5/32 = 2,17$
Температура газов на входе	$g'$	$\text{°C}$	Из расчета КПП ВД	741,5

Продолжение таблицы А.9

1	2	3	4	5
Энтальпия газов на входе	$I'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета КПП ВД	3047,4
Температура газов на выходе	$\vartheta''$	$^{\circ}\text{C}$	задано	610
Энтальпия газов на выходе	$I''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-9 таблице	2523,4
Тепловосприятие по балансу	$Q_{\delta}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\varphi \cdot (I' - I'')$	524
Тепловосприятие подвесных труб	$Q_{\text{под}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Принимаем	20
Тепловосприятие КПП НД по балансу	$Q_{\text{кпп}}^{\delta}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Принимаем	528,7
Энтальпия пара на выходе	$i''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По табл. воды и вод. паров	848
Температура пара на выходе	$t''$	$^{\circ}\text{C}$	Принимаем	545
Приrost энтальпии	$\Delta i$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$Q_{\text{кпп}}^{\delta} \cdot B/D$	41,9
Энтальпия пара на входе в КПП НД 2	$i'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$i'' - \Delta i$	806
Температура пара на входе	$t'$	$^{\circ}\text{C}$	По табл. воды и вод. паров	468,5
Средняя температура газов	$\vartheta_{cp}$	$^{\circ}\text{C}$	$(\vartheta' + \vartheta'')/2$	675,75
Средняя температура пара	$t_{cp}$	$^{\circ}\text{C}$	$(t' + t'')/2$	506,75
Температурный напор	$\Delta t$	$^{\circ}\text{C}$	$\vartheta_{cp} - t_{cp}$	169
Скорость газов	$\omega_2$	м/с	$\frac{B_p \cdot V_2 \cdot (\vartheta_{cp} + 273)}{F_2 \cdot 3600 \cdot 273}$	13,41
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$a_k$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	Номограмма 10	71,2
Температура наружной поверхности загрязнений	$t_3$	$^{\circ}\text{C}$	$t_{cp} + 25$	531,75
Коэффициент ослабления лучей RO2	$K_2$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	Номограмма 2	2,3
Поглощающая способность RO2	$p_n s$	$\frac{\text{м} \cdot \text{кгс}}{\text{см}^2}$	$\rho \cdot r_n s$	0,0558
Оптическая толщина	$kps$	-	$K_2 p_n s$	0,128
Коэффициент теплоотдачи излучением	$a_l$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	Номограмма 18	12,7

Окончание таблицы А.9

1	2	3	4	5
Коэффициент теплоотдачи	$K$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	$\xi \cdot (a_1 + a_2)$	71,3
Тепловосприятие КПП НД 2	$Q_{кпп}^m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$K \cdot H_{кпп} \cdot \Delta t / B$	492,18
Тепловосприятие подвесных труб	$Q_{под}^m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$K \cdot H_{под} \cdot \Delta t / B$	11,95
Отношение тепловосприятий	$Q_m / Q_{\bar{b}}$	%	$(Q_m / Q_{\bar{b}}) 100$	504,13/524×100=96,7

Рассчитаем конвективный пароперегреватель низкого давления первой ступени в таблице А.10.

Таблица А.10 – Расчёт КПП НД-1

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Итог
1	2	3	4	5
Диаметр и толщина труб	$d/\sigma$	мм	По конструктивным данным	45/3,5
Эффективная толщина излучающего слоя	$S_{эф}$	м	По конструктивным данным	0,178
Поверхность нагрева	$H_{под}$	м <sup>2</sup>	По конструктивным данным	3060
Продольный шаг	$s_1$	-	По конструктивным данным	128
Поперечный шаг	$s_2$	-	По конструктивным данным	66,3
Температура газов на входе	$g'$	°C	Из расчета КППНД-2	610
Энтальпия газов на входе	$I'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета КППНД-2	2523,4
Температура газов на выходе	$g''$	°C	Принимаем	490
Энтальпия газов на выходе	$I''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По I-9 таблице	2037,9
Энтальпия пара на выходе	$I''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета КППНД-2	806
Температура пара на выходе	$t''$	°C	Из расчета КППНД-2	468,5
Температура пара на входе	$t'$	°C	Посчитано	311
Энтальпия пара на входе	$i'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	По условию задания	772



Окончание таблицы А.10

1	2	3	4	5
Приrost энтальпий	$\Delta i$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$i'' - i'$	34
Тепловосприятие по балансу	$Q_6$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\varphi \cdot (I' - I'')$	486,2
Средняя температура газов	$\vartheta_{cp}$	°C	$(\vartheta' + \vartheta'')/2$	550
Средняя температура пара	$t_{cp}$	°C	$(t' + t'')/2$	389,75
Температурный напор	$\Delta t$	°C	$\vartheta_{cp} - t_{cp}$	160,25
Скорость газов	$W_2$	м/с	$\frac{B_p \cdot V_2 \cdot (\vartheta_{cp} + 273)}{F_2 \cdot 3600 \cdot 273}$	12,33
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$a_k$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	Номограмма 10	69,3
Температура наружной поверхности загрязнений	$t_3$	°C	$t_{cp} + 25$	414,75
Коэффициент ослабления лучей RO <sub>2</sub>	$K_2$	-	Номограмма 2	2,7
Поглощающая способность RO <sub>2</sub>	$p_n S$	-	$\rho \cdot r_n \cdot S$	0,0467
Оптическая толщина	$K_2 S$	-	$K_2 p_n S$	0,126
Коэффициент теплоотдачи излучением	$a_l$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	Номограмма 18	11,2
Коэффициент использования	$\xi$	-	Принимаем	0,85
Коэффициент теплопередачи	$K$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	$\xi(a_k + a_l)$	68,42
Тепловосприятие КПП НД 2	$Q_m$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$K \cdot H_{км} \cdot \Delta t / B$	446,7
Отношение тепловосприятий	$Q_m / Q_6$	%	$(Q_m / Q_6) \cdot 100$	446,7/486,2 = 91,8

Тепловой расчёт экономайзера в таблице А.11.

Таблица А.11 – Тепловой расчёт экономайзера

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Итог
1	2	3	4	5
Диаметр и толщина труб	$d/\sigma$	мм	По конструктивным данным	32/6
Эффективная толщина труб	$S$	м	По конструктивным данным	0,043
Продольный шаг	$s_1$	мм	По конструктивным данным	50

Продолжение таблицы А.11

1	2	3	4	5
Поперечный шаг	$s_2$	мм	По конструктивным данным	40
Количество труб в ряду	$Z$	шт	По конструктивным данным	240
Температура газов на входе	$\vartheta'$	°С	Из расчета КППНД-1	490
Энтальпия газов на входе	$I'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета КППНД-1	2037,9
Температура газов на выходе	$\vartheta''$	°С	Из расчета РВП	182,3
Энтальпия газов на выходе	$I''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	Из расчета РВП	849,4
Температура воды на входе	$t'$	°С	Задано	262
Энтальпия воды на входе	$i'$	$\frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$	По табл. воды и водяного пара	278,9
Тепловосприятие по балансу	$Q_6$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\varphi(I'-I'')$	1188,5
Прирост энтальпии	$\Delta i$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$\frac{Q_6 \cdot B}{(D - D_{\text{вп}}) \cdot 1000}$	95,33
Энтальпия питательной воды на выходе	$i''$	$\frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$	$\Delta i + i'$	374,23
Температура питательной воды на выходе	$t''$	°С	По табл. воды и водяного пара	323,2
Средняя температура газов	$\vartheta_{\text{ср}}$	°С	$(\vartheta' + \vartheta'')/2$	336,15
Средняя температура воды	$t_{\text{ср}}$	°С	$(t' + t'')/2$	292,15
Температурный напор	$\Delta t$	°С	$\vartheta_{\text{ср}} - t_{\text{ср}}$	44
Скорость газов	$W_{\text{г}}$	м/с	$\frac{B_p \cdot V_z \cdot (\vartheta_{\text{ср}} + 273)}{F_z \cdot 3600 \cdot 273}$	15,91
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$a_{\text{к}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°С}}$	Номограмма 10	126
Температура наружной поверхности загрязнений	$t_3$	°С	$t_{\text{ср}} + 25$	317,15
Поглащающая способность	$p_n S$	-	$\rho \cdot r_n \cdot S$	$1 \cdot 0,56 \cdot 0,043 = 0,011$
Оптическая толщина	$K_z S$	-	$K_z p_n S$	0,0165
Степень черноты газов	$\alpha$	-	Номограмма 17	0,1
Коэффициент теплоотдачи излучением	$a_{\text{л}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°С}}$	Номограмма 18	54
Коэффициент использования	$\xi$	-	Принимаем	0,85
Коэффициент теплопередачи	$K$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°С}}$	$\xi(a_{\text{к}} + a_{\text{л}})$	111,7
Поверхность нагрева в водяном экономайзере	$H$	м <sup>2</sup>		17901,2
Длина каждого змеевика	$L_3$	м	$H/(3,14 \cdot 0,32 \cdot Z \cdot 4)$	185,6

Окончание таблицы А.11

1	2	3	4	5
Число петель	$Z_{nem}$	шт	По чертежу	480
Шаг петли	$S_{nem}$	мм	$2 \cdot S_l$	100
Ширина экономайзера	$h_{эк}$	мм	$Z_{nem} \cdot S_{nem}$	48000
Тепловосприятие	$Q_T$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$K \cdot H_{квт} \cdot \Delta t / B$	1187,9
Отношение тепловосприятий	$Q_m / Q_0$	%	$(Q_m / Q_0) \cdot 100$	$1188,5 \cdot 100 : 1188,5 = 100$

После теплового расчёта всех нагревательных поверхностей требуется осуществить уточнение теплового баланса и подвести итог расчёт сравнением с погрешностью расчётов в таблице А.11

Таблица А.12 – Расчет невязки

Абсолютная погрешность	$\Delta Q$	$\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$	$Q_p^p \cdot \eta_{ка} - \left( \begin{array}{l} Q_{л}^r + Q_{шл} + \\ + Q_{об.ш.} + Q_{пк} + \\ + Q_{кпп.вд} + Q_{кпп.нд} \\ + Q_{кпп.нд1} + Q_{эк} \end{array} \right)$	$8500 \cdot 0,9544 - (4037,5 + 1183 + 196,3 + 323,5 + 426,3 + 524 + 486,2 + 1188,5) = -142$
Невязка баланса	$\Delta Q / Q_p^p$	%	$(\Delta Q / Q_p^p) \cdot 100$	$(-142 / 8500) / 100 = 1,67$

Невязка теплового баланса составила менее 2%, поэтому расчёт котлоагрегата ТГМП-114 после реконструкции РВП энергоблока №4 филиала «Ириклинская ГРЭС» можно считать законченным и достоверным.