

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

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент,  
Главный энергетик АО «Сигнал»  
\_\_\_\_\_ В.Н.Остапук  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой  
промышленной теплоэнергетики,  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ К.В. Осинцев  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**РЕКОНСТРУКЦИЯ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА ПТВМ-30ГМ АО «СИГНАЛ»  
ПУТЕМ ЗАМЕНЫ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА  
ЮУрГУ–13.03.01.2017.101.04 ПЗ ВКР

Консультант по разделу  
«Экономика и управление»,  
старший преподаватель  
\_\_\_\_\_ Р.А. Алабугина  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Руководитель работы,  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ А.И.Грибанов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017г.

Нормоконтролер,  
старший преподаватель  
\_\_\_\_\_ Р.А. Алабугина  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Автор работы,  
студент группы П-480  
\_\_\_\_\_ Р.Е. Антонов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017г.

## АННОТАЦИЯ

Антонов Р.Е. Реконструкция котельного агрегата ПТМВ-30ГМ завода АО «Сигнал» путем замены горелочных устройств – Челябинск: ЮУрГУ, ПТ, П; 2017, 85 с., 3 ил., библиогр. список – 60 наим., 6 листов чертежей ф.А1, 1 лист плаката ф.А1.

Целью выпускной квалификационной работы (ВКР) является предложение модернизации котельного агрегата ПТМВ-30ГМ АО «Сигнал» путем замены горелочных устройств.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, 9-ти глав, заключения и библиографического списка.

Первая глава посвящена описанию существующей отопительной котельной и обоснованию, актуальности и сути её расширения.

Во второй главе произведен обзор литературных источников используемых в работе.

В третьей главе проведено сравнение отечественных и зарубежных передовых технологий и решений в области горелочных устройств котельных агрегатов.

Четвертая глава посвящена вопросам энергосбережения и реализации энергосберегающих мероприятий на котельной.

В пятой главе выполнена специальная часть выпускной квалификационной работы. Произведен поверочный тепловой и аэродинамический расчеты водогрейного котла ПТМВ-30ГМ. Так же выполнен расчет горелочных устройств котельного агрегата и рассчитана экономия топлива.

В шестой главе выполнен расчет объема токсичных веществ, содержащихся в дымовых газах. Рассчитаны выбросы окислов азота, а также сделан поверочный расчет дымовой трубы.

Седьмая глава посвящена вопросам автоматизации процессов работы котельного оборудования.

В восьмой главе рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности на производстве.

В девятой главе выполнен экономический расчет модернизации котельного агрегата.

Графическая часть выполнена с применением AutoCAD– системы автоматизированного проектирования на 7 листах формата А1.

					<i>13.03.01.2017.101.04 ПЗ</i>					
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Модернизация котельного агрегата ПТМВ-30ГМ АО «Сигнал» путем замены горелочных устройств</i>	<i>Лит.</i>			<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Выполнил</i>	<i>Антонов Р.Е.</i>					<i>В</i>	<i>К</i>	<i>Р</i>	<i>3</i>	<i>85</i>
<i>Руковод.</i>	<i>Грибанов А.И.</i>					<i>ЮУрГУ Кафедра промышленной теплоэнергетики</i>				
<i>Н.контр.</i>	<i>Алабугина Р.А.</i>									
<i>Зав.каф.</i>	<i>Осинцев К.В.</i>									

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ОБОСНОВАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА ПТВМ-30ГМ АО «СИГНАЛ» ПУТЕМ ЗАМЕНЫ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ И ЕЕ АКТУАЛЬНОСТЬ.....	6
2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	7
3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ АНАЛОГОВ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ.....	8
4 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	10
4.1 Актуальность энергосбережения в России .....	10
4.2 Пути энергосбережения в котельных.....	11
5 РЕКОНСТРУКЦИЯ КОТЛА ПТВМ-30ГМ.....	12
5.1 Технические характеристики котла ПТВМ-30ГМ и характеристика топлива.....	12
5.2 Поверочный тепловой расчет котла.....	13
5.2.1 Расчет объемов воздуха и продуктов сгорания.....	18
5.2.2 Характеристика и энтальпии продуктов сгорания.....	15
5.2.3 Тепловой баланс котельного агрегата и расход топлива.....	18
5.2.4 Поверочный расчет топки.....	19
5.2.5 Расчет конвективного пучка.....	23
5.2.6 Расчет фестона.....	26
5.3 Аэродинамический расчет котельного агрегата.....	30
5.3.1 Аэродинамический расчет воздушного тракта котельного агрегата.....	31
5.3.2 Аэродинамический расчет газового тракта котельного агрегата.....	40
5.4 Расчет горелочных устройств котельного агрегата.....	40
5.5 Расчет экономии топлива, полученной в результате замены горелочных устройств.....	44
6 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ.....	45
6.1 Расчет дымовой трубы.....	45
6.1.1 Расчет объема токсичных веществ, содержащихся в дымовых газах.....	46
6.1.2 Расчет выбросов окислов азота.....	46
6.1.3 Поверочный расчет дымовой трубы.....	47
7 КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И АВТОМАТИКА.....	51
8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	53
8.1 Характеристика рабочего места.....	53
8.2 Требования безопасности производственного оборудования.....	54
8.3 Требования безопасности, предъявляемые к горелочным устройствам.....	55
8.4 Обеспечение безопасных условий эксплуатации котлов.....	56
8.5 Требования к размещению котлов и вспомогательного оборудования.....	56
8.6 Требования охраны труда при монтаже и демонтаже тепловых энергоустановок.....	57

8.7 Нормирование факторов рабочей среды и трудового процесса.....	58
8.7.1 Воздух рабочей зоны.....	58
8.7.2 Освещение рабочей зоны.....	60
8.8 Электробезопасность.....	61
8.9 Пожаробезопасность.....	62
8.10 Средства пожаротушения.....	64
9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ.....	66
9.1 Смета капитальных затрат.....	66
9.2 Расчет текущих затрат котельной до модернизации.....	67
9.3 Расчет текущих затрат котельной после модернизации.....	69
9.4 Расчет срока окупаемости проекта модернизации котельной.....	71
9.5 SWOT–анализ вариантов проектных решений.....	72
9.6 Планирование целей проекта в дереве целей.....	73
9.7 Оценка движущих и сдерживающих сил при разработке проекта.....	75
9.8 Планирование мероприятий по реализации проекта (график Ганта).....	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	78
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	79
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ПРИЛОЖЕНИЕ А. График Ганта проекта модернизации котельной АО «Сигнал».....	83

## ВВЕДЕНИЕ

Рост населения Земли, энерговооруженности труда, затрат энергии в быту и в общественной жизни сопровождается увеличением мирового потребления энергоресурсов. Средний темп роста мирового потребления энергии в период 1995 – 2005 гг. составил 2,5% в год. Таким образом, оно может возрасти к 2020 г. до 20 – 21 млрд. т.у.т. [1].

Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов в странах с развитой экономикой стало основным направлением государственной энергетической политики. Постепенное истощение запасов органического топлива, рост цен на энергоносители, ухудшение экологической ситуации делают проблему рационального использования энергии все более острой. В связи с этим возникает необходимость проведения государственной энергосберегающей политики. Указ Президента РФ №889 от 4 июня 2008 года предусматривает снижение к 2020 году энергоемкости внутреннего валового продукта РФ не менее чем на 40% по сравнению с 2007 годом [54].

Существует тесная взаимосвязь между ростом производства энергии и загрязнением окружающей среды. Основная доля энергии вырабатывается при сжигании органического топлива. При сжигании различных видов топлива в атмосферу с отходящими газами попадают вредные вещества. Энергосбережение дает возможность сократить выбросы вредных веществ [54].

Энергетический комплекс промышленного предприятия представляет собой сложную систему. Промышленная теплоэнергетика снабжает предприятия различными видами энергии и энергоносителей таких как: электроэнергия, тепловая энергия, пар, вода, воздух и кислород. Большая часть тепловой энергии производится на тепловых электрических станциях и в централизованных котельных установках. Доля первых из них в производстве тепловой энергии в России составляет 36%, доля вторых – 46%. Остальная тепловая энергия вырабатывается в автономных источниках теплоты, ядерных, геотермальных, солнечных источниках, а также на установках утилизации теплоты вторичных энергетических ресурсов [54].

Согласно «Энергетической стратегии России до 2030 года» от 13 ноября 2009 года, целью энергетической политики России должно является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики, повышения качества жизни населения страны и содействия укреплению ее внешнеэкономических позиций. Поддержка и стимулирование стратегических инициатив в энергетике являются основой для реализации крупных энергетических проектов в будущем [1].

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

# 1 ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА ПТВМ-30ГМ АО «СИГНАЛ» ПУТЕМ ЗАМЕНЫ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ И ЕЕ АКТУАЛЬНОСТЬ

Котельная завода АО «Сигнал» обеспечивает покрытие нужд теплоснабжения близлежащего поселка Сигнал и нужд самого предприятия.

В настоящее время в котельной функционируют два водогрейных котла ПТВМ-30ГМ суммарной тепловой мощностью 60 Гкал/ч.

Система теплоснабжения предназначена для снабжения потребителей тепловой энергией для нужд отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Энергосбережение и ресурсосбережение является одной из важнейших задач при эксплуатации оборудования любого производства, в связи с этим необходимо модернизировать это оборудование, для снижения потребления топлива.

Среди факторов, увеличивающих расход топлива в котельных можно выделить: физический и моральный износ котельных установок; отсутствие или плохую работу системы автоматики; несовершенство газогорелочных устройств; несвоевременную наладку теплового режима котла; образование отложений на поверхностях нагрева; плохую теплоизоляцию; неоптимальную тепловую схему; отсутствие экономайзеров-подогревателей; неплотности газоходов [54]

Одним из лучших способов повысить эффективность уже существующих на промышленных предприятиях котельных, является замена горелок. Это самое оптимальное решение в тех случаях, когда сами отопительные котлы находятся в хорошем состоянии или когда нет достаточных средств на полное техническое переоснащение.

Горелочные устройства имеют множество конструкций, но их суть рабочего принципа заключается в подготовке смеси газа и кислорода для горения, обеспечение стабильной подачи смеси и ее сгорания в топке котла. Горение топлива – химическая реакция соединения горючих элементов топлива с окислителем при высокой температуре, сопровождающийся интенсивным выделением теплоты. В качестве окислителя используют кислород воздуха. При сжигании топлива входящие в его состав горючие элементы соединяются с кислородом воздуха. При этом происходит преобразование химической энергии топлива в тепловую, которая идет на нагрев продуктов сгорания топлива. В процессе горения углеводородного топлива образуется множество других попутных веществ и токсичных газов, которые загрязняют атмосферу [24]

Установленные в настоящее время горелочные устройства котла ПТВМ-30ГМ являются физически и морально устаревшими, что приводит к уменьшению эффективности их работы, увеличению расхода топлива и превышению допустимого уровня вредных выбросов в атмосферу.

В работе рассмотрен вопрос модернизации котельного агрегата ПТВМ-30ГМ котельной завода АО «Сигнал» путем замены горелочных устройств.

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

## 2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Основной написания выпускной квалификационной работы являются «Энергетическая стратегия России до 2030 года» от 13 ноября 2009 года [1], Федеральный закон №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [6], а также «Стратегии социально-экономического развития Челябинской области до 2020 года» от 26 марта 2014 года [2]. Эти нормативно-правовые акты направлены на выполнение мероприятий по оптимизации использования энергетических ресурсов и внедрению современных энергосберегающих технологий.

При выполнении реконструкции котла ПТВМ-30ГМ на котельной АО «Сигнал» путем замены горелочных устройств была использована следующая учебно-методическая, нормативно-справочная литература: СП 89.13330.2012 Котельные установки [8]; ГОСТ 21204-97 Горелки газовые промышленные. Общие технические требования [14].

Основным документом при написании раздела «Энергосбережение» является Федеральный закон от 23.11.2009 №261-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [6].

Тепловой расчет котла выполнен согласно литературе [37] и СП 89.13330.2012 Котельные установки [8].

Расчет горелочных устройств выполнен согласно литературе [42] и ГОСТ 21204-97 Горелки газовые промышленные. Общие технические требования [14].

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. Также использована методика, изложенная в пособии А.А. Алабугина «Экономико-управленческая часть дипломного проекта» [21].

При написании раздела «Безопасность жизнедеятельности» использовались следующие основные нормативные документы: Приказ Минтруда России от 17.08.2015 № 551н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок» [3]; 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.

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

### 3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

Горелочные устройства являются важнейшим элементом котельного агрегата. Правильный выбор горелочного устройства, рациональная установка его на котельном агрегате, соблюдение условий эксплуатации решающим образом влияют на эффективность и экономичность, а иногда на работоспособность всего агрегата.

На сегодняшний день представлено огромное количество газовых горелочных устройств отечественного и импортного производства с многообразием их принципов действия, а также вариативностью конструктивных решений. Одной из универсальных горелок является газовая горелка, модернизированной конструкции МГМГ. Горелочное устройство МГМГ используется в котлах, печах, сушилках и других топливоиспользующих установках. Горелка газовая МГМГ состоит из корпуса с двумя подводными патрубками: для воздуха и газа, газовой и воздушной камер, завихрителей, насадки, смотровой трубы.

Достоинства газовой горелки:

- горелка способна работать на жидком и газообразном топливе;
- горелка способна работать на газе низкого и среднего давления;
- простота ремонта горелки и возможность внутреннего осмотра;
- пониженные выбросы окислов азота;
- обеспечивает эффективное сжигание топлива;
- удобство розжига [54].

Кроме отечественных производителей, на российском рынке горелок для промышленных котлов широко представлены зарубежные фирмы. Одна из них – немецкая компания – RAY, поставляющая газовые, дизельные и комбинированные горелки для бытовых и промышленных котлов. Горелочные устройства RAY BGEC – 600 – промышленные моноблочные горелки с ротационной форсункой и модулируемым регулированием тепловой мощности могут применяться на паровых и водогрейных котлах для сжигания природного газа и мазута. Двухблочная горелка BGEC регулируется бесступенчато в диапазоне регулирования до 1:10 и наилучшим образом приспособлена для работы с горячим воздухом, а также промышленной вытяжкой с температурой до 250°C. Воздух для сжигания подается отдельно установленными вентиляторами, обеспечивающими подачу первичного и вторичного воздуха.

Горелочное устройство RAY BGEC–600 имеет следующие достоинства:

- гибкая конструкция горелки;
- одновременное сжигание нескольких видов газа;
- широкий диапазон регулирования для газообразного топлива;
- пониженные выбросы окислов азота.
- обеспечивает эффективное сжигание топлива;
- удобство розжига [55].

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10



В таблице 1 представлено сравнение характеристик отечественного горелочного устройства МГМГ – 6 и зарубежного RAY BGEC – 600.

Таблица 1 – Сравнение характеристик отечественного и зарубежного горелочного устройства

	RAY BGEC–600 [55]	МГМГ–6
Тепловая мощность, МВт	1,2-6,8	6
Давление газа, кПа	5-70	25
Расход газа, м <sup>3</sup> /час	52,34-697,7	685
Давление воздуха, кПа	1,25-1,84	0,75
Коэффициент избытка воздуха	1,04-1,1	1,05
Цена, тыс. руб.	210	50,6

Горелочные устройства зарубежных производителей имеют широкий диапазон регулирования и высокую степень автоматизации, в отличие от горелок отечественных производителей. Вместе с этим цена зарубежных горелок значительно превышает цены отечественных. В результате чего целесообразно остановить свой выбор на отечественных горелках.

## 4 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Экономия топлива при эксплуатации котельных – один из наиболее актуальных на сегодняшний день вопросов в России. При расширении котельной планируется установка котлов, при производстве которых используются современные инновационные технологии, позволяющие оптимизировать работу котельной и снизить топливный и энергетический расход [3].

Согласно ФЗ 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» каждое вновь вводимое в эксплуатацию здание, за исключением культовых зданий, объектов индивидуального строительства, малых сооружений, должно соответствовать требованиям энергоэффективности. Что касается новых многоквартирных домов, то застройщик должен определить класс энергоэффективности здания и указать эту информацию на фасаде дома [4].

Топливо-энергетические ресурсы согласно Федеральному закону ФЗ №261 представляют собой совокупность природных и произведенных энергоносителей, запасенная энергия которых при существующем уровне развития техники и технологии доступна для использования в хозяйственной деятельности.

В соответствии с ФЗ №261 должны реализовываться следующие направления энергосбережения и повышения энергетической эффективности:

1. Эффективное и рациональное использование энергетических ресурсов;
2. Поддержка и стимулирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
3. Системность и комплексность проведения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности;
4. Планирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности[6].

В 2008 году мировое потребление энергии составило 15,7 млрд. т.у.т. В структуре мирового потребления топливо-энергетических ресурсов доминирующую роль играет органическое топливо: нефть 31%, уголь 26% и газ 24%. [54].

### 4.1 Актуальность энергосбережения в России

Энергоресурсосбережение является одной из самых важных задач в настоящее время. Актуальность энергосберегающих мероприятий для экономики Российской Федерации обуславливается рядом причин, а именно:

– Уменьшение запасов органического топлива, а также усложнение добычи и транспортировки, что вызвало постоянный рост стоимости всех видов топлива:

– В России, как и во всем мире, существенно возросло и продолжает возрастать потребление энергии. Известно, что на теплоснабжение гражданских и производственных зданий расходуется более одной трети всего добываемого в России органического топлива, это обусловлено продолжительностью зим.

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

– Износ и снижение эффективности энергетического оборудования котельных, ТЭЦ и тепловых сетей вызывает повышение стоимости производимых или транспортируемых энергоносителей. Это связано со спадом инвестиций в топливно-энергетический комплекс страны.

#### 4.2 Пути энергосбережения в котельных

Пути энергосбережения и повышения энергоэффективности в котельных:

1. Рациональным распределением нагрузки между несколькими котлами, работающими одновременно, можно влиять на энергосбережение в котельных, поскольку КПД котлов и расходы условного топлива, которые зависят от производительности, индивидуальны для разных модификаций котлов и сроков их использования. Самое выгодное распределение суммарной нагрузки между котлами будет при условии равенства относительных приростов расхода топлива.

2. Редуцирование пара с одновременной выработкой электрической энергии. Редуционно-охладительные установки (РОУ) предназначены для снижения давления пара с параллельным снижением его температуры путем распыла воды до необходимых для технологии параметров. Одним из возможных практических вариантов использования потенциальной энергии пара с одновременным снижением его давления и температуры является применение противодавленческих турбин или паросиловых установок.

3. Реконструкция газоподачи и ГРУ в котельной. Она заключается в установке взамен регулятора давления турбину, работающую на природном газе, которая будет снижать давление газа и одновременно вырабатывать электрическую энергию.

4. Применение частотных приводов и устройств плавного пуска на электродвигателях. Использование таких устройств позволит снизить расход электроэнергии на 24-31 %, а также продлить срок эксплуатации электродвигателя на 16 %. Применение плавного пуска позволяет защитить оборудование и трубопроводы от гидроударов [54].

5. Замена горелочных устройств котельных агрегатов на более современные с меньшим коэффициентом избытка воздуха и меньшим потреблением топлива.

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

## 5 РЕКОНСТРУКЦИЯ КОТЛА ПТВМ-30ГМ

Котельная представляет собой комплекс технологически связанных тепловых энергоустановок, расположенных в обособленных производственных зданиях, встроенных, пристроенных или надстроенных помещениях с котлами, водонагревателями и котельно-вспомогательным оборудованием, предназначенный для выработки теплоты [8].

Котел ПТВМ-30ГМ использует в качестве топлива природный газ. Природный газ не требует дорогостоящей топливоподготовки. Подготовка газа к сжиганию включает в себя его очистку и регулирование его давление, которое осуществляется в ГРУ [24].

### 5.1 Технические характеристики котла ПТВМ-30ГМ и характеристика топлива

Водогрейный котел ПТВМ-30ГМ является прямоточным с П-образной сомкнутой компоновкой поверхностей нагрева. Топка котлов ПТВМ-30ГМ полностью экранирована и оборудована газовыми горелками, установленными встречно на боковых стенках. Диапазон регулирования нагрузки котлов от 30 до 100% от номинальной теплопроизводительности. Изменение теплопроизводительности котлов осуществляется изменением числа работающих горелок. Конвективные поверхности нагрева котла ПТВМ-30ГМ расположены в конвективном газоходе с боковыми стенками, экранированными трубами, расположенными с шагом  $S = 128$  мм, которые являются коллекторами для U-образных ширм, выполненных из труб  $\varnothing 28 \times 3$  мм. Ширмы установлены таким образом, что трубы образуют конвективный шахматный пучок. Задняя стенка конвективного газохода экранирована трубами.

В таблице (5.1) представлены технические и конструктивные характеристики котельного агрегата ПТВМ-30ГМ согласно паспортным данным котельного агрегата.

Таблица 5.1 – Технические и основные конструктивные характеристики котла ПТВМ-30ГМ [37]

Показатели	Значения
1	2
Номинальная теплопроизводительность, Гкал/ч	30
Расход воды, т/ч	370
Расход топлива (газ), м <sup>3</sup> /час	3680
Температура воды на входе в котёл, °С	70
Температура воды на выходе из котла, °С	150
Давление воды расчетное, кгс/см <sup>2</sup>	25

Продолжение таблицы 5.1

1	2
Объем топочной камеры, м <sup>2</sup>	81,5
Радиационная поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	126,9
Конвективная поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	592,6
Полная площадь поверхности нагрева, м <sup>2</sup>	719,5
Температура уходящих газов, °С газ	160

Топливом котла является природный газ месторождения Уренгой-Сургут-Челябинск с теплотой сгорания  $Q_n^p = 36764 \text{ кДж/м}^3$ , характеристика приведена в таблице (5.2).

Таблица 5.2 – Характеристика топлива, газ Уренгой-Сургут-Челябинск [56]

Элемент	Содержание по объему, %
CH <sub>4</sub>	98,38
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,29
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,2
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,09
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,04
N <sub>2</sub>	1,0

## 5.2 Поверочный тепловой расчет котла

Поверочный расчет производят для оценки показателей экономичности и надежности агрегата при работе на заданном топливе, выявления необходимых реконструктивных мероприятий, выбора вспомогательного оборудования и получения исходных материалов для проведения расчетов: аэродинамического, гидравлического, температур металла и прочности труб, коррозии. При конструктивном расчете определяют размеры топки и размеры поверхностей нагрева отдельных элементов агрегата, необходимые для обеспечения номинальной теплопроизводительности. Конструктивный расчет также дает исходные материалы для выбора вспомогательного оборудования и для аэродинамического, гидравлического и прочностного расчета [37].

### 5.2.1 Расчёт объёмов воздуха и продуктов сгорания

Газообразное топливо представляет собой смесь горючих и негорючих газов, содержащую некоторое количество примесей в виде водяных паров, смолы и пыли. Состав газообразного топлива задается в процентах по объему, и все

расчеты относятся к кубическому метру сухого газа при нормальных условиях (760 мм рт. ст. и 0 °С).

Объемы и масса воздуха и продуктов сгорания при сжигании 1 м<sup>3</sup> сухого газообразного топлива определяются по следующим формулам:

Теоретическое количество воздуха, необходимого для полного сгорания топлива определяется по формуле (5.1), м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

$$V^0 = 0,0476 \cdot \left[ 0,5H_2 + 1,5H_2S + 2CH_4 + 0,5CO + \sum \left( m + \frac{n}{4} \right) \cdot C_m H_n - O_2 \right], \quad (5.1)$$

где  $CO, H_2, H_2S, O_2, CH_4, C_m H_n$  – объемное содержание оксида углерода, водорода, сероводорода, кислорода, метана и других углеводородов в топливе в процентах, значения приведены в таблице (5.2).

$$V^0 = 0,0476 \cdot \left[ 2 \cdot 98,38 + \left( 2 + \frac{6}{4} \right) \cdot 0,29 + \left( 3 + \frac{8}{4} \right) \cdot 0,2 + \left( 4 + \frac{10}{4} \right) \cdot 0,09 + \left( 5 + \frac{12}{4} \right) \cdot 0,04 \right] = 9,49 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Теоретический объем двухатомных газов находим по формуле (5.2), м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,01 \cdot N_2, \quad (5.2)$$

где  $N_2$  – объемное содержание двухатомных газов в процентах, значения приведены в таблице (5.2).

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot 9,49 + 0,01 \cdot 1,0 = 7,51 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Объем трехатомных газов определяем по формуле (5.3), м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

$$V_{RO_2}^0 = 0,01 \cdot (CO_2 + CO + H_2S + \sum m \cdot C_m H_n), \quad (5.3)$$

где  $CO_2, CO, H_2S, C_m H_n$  – объемное содержание диоксида углерода, оксида углерода, сероводорода, углеводородов в топливе в процентах, значения приведены в таблице 5.2.

$$V_{RO_2}^0 = 0,01 \cdot (0,14 + 1 \cdot 98,24 + 2 \cdot 0,29 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,09) = 0,9992 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Теоретический объем водяных паров находим по формуле (5.4),  $\text{м}^3/\text{м}^3$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,01 \cdot (\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2 + \sum 0,5 \cdot n \cdot C_m \text{H}_n + 0,124 \cdot d_{z.mл}) + 0,0161 \cdot V^o, \quad (5.4)$$

где  $d_{z.mл}$  – влагосодержание топлива, отнесенное к 1  $\text{м}^3$ , при  $t_{z.mл} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $d_{z.mл} = 10 \text{ г}/\text{м}^3$ .

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,01 \cdot (0,5 \cdot (4 \cdot 98,38 + 6 \cdot 0,29 + 8 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,09) + 0,124 \cdot 10) + 0,016 \cdot 9,49 = 2,0074 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

### 5.2.2 Характеристики и энтальпии продуктов сгорания и воздуха

Действительное количество воздуха, поступающего в топку, отличается от теоретически необходимого в  $\alpha$  раз, где  $\alpha$  – коэффициент избытка воздуха.

Коэффициент избытка воздуха для горелки ГМПВ–6  $\alpha = 1,05$ , соответственно коэффициент избытка воздуха на входе в топку  $\alpha = 1,05$ .

По данным нормативных значений присосов воздуха по газоходам [37, табл. XVI] присосы воздуха по газоходам  $\Delta\alpha$ , расчетные коэффициенты избытка воздуха в газоходах  $\alpha''$ .

Таблица 5.3 – Присосы воздуха по газоходу и расчетные коэффициенты избытка воздуха [37]

Участки газового тракта	$\Delta\alpha$	$\alpha''$
Топка	0,14	1,14
Конвективный пучок	0,06	1,2

Наличие присосов воздуха приводит к тому, что объем продуктов сгорания в каждом газоходе будет отличаться от теоретического, поэтому необходимо рассчитать реальные объемы газов по газоходам и объемные доли газов. Так как присосы воздуха не содержат трехатомных газов, то объем этих газов  $V_{\text{RO}_2}^0$  от

коэффициента избытка воздуха не зависит и во всех газоходах остается постоянным и равным теоретическому. В таблице (5.4) приведены характеристики продуктов сгорания в поверхностях нагрева.

Таблица 5.4 – Характеристика продуктов сгорания в поверхностях нагрева

Величина	Единица измерения	Участки газохода	
		Топка	Конвективный пучок
Коэффициент избытка воздуха	–	1,14	1,2
$V_{RO_2}$	$м^3/м^3$	0,9992	0,9992
$V_{N_2} = V_{N_2}^0 + (\alpha - 1) \cdot V^0$	$м^3/м^3$	8,979	9,6098
$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^0$	$м^3/м^3$	2,031	2,041
$V_z = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O}$	$м^3/м^3$	12,009	12,65
$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_z}$	–	0,0832	0,0789
$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_z}$	–	0,169	0,161
$r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O}$	–	0,252	0,2399

Энтальпия продуктов сгорания,  $кДж/м^3$  находится по формуле (5.5)

$$I_z = I_z^0 + I_g^0 \cdot (\alpha^{cp} - 1), \quad (5.5)$$

где  $I_z^0$ ,  $I_g^0$  – теоретические энтальпии газов и воздуха определяется по формуле (5.6) и (5.7),  $кДж/м^3$

$$I_z^0 = (V_{RO_2} \cdot (c\mathcal{G})_{RO_2} + V_{H_2O}^0 \cdot (c\mathcal{G})_{H_2O} + V_{N_2}^0 \cdot (c\mathcal{G})_{N_2}), \quad (5.6)$$

где  $(c\mathcal{G})_{RO_2}$ ,  $(c\mathcal{G})_{N_2}$ ,  $(c\mathcal{G})_{H_2O}$  – удельные энтальпии трехатомных газов, азота и водяных паров соответственно,  $кДж/м^3$  [6, табл. П1].

$$I_g^0 = V^0 \cdot c_g \mathcal{G}_g, \quad (5.7)$$

где  $c_g$  – теплоемкость холодного воздуха при температуре  $t_{x.g}$  и постоянном давлении равным атмосферному,  $кДж/м^3К$  [6, табл. П1].



Рассчитаем энтальпии воздуха и продуктов сгорания при  $\vartheta = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  :

$$I_g^0 = 9,490 \cdot 132,7 = 1259,3 \text{ кДж/м}^3$$

$$I_z^0 = (0,9992 \cdot 171,7 + 2,0074 \cdot 150,5 + 7,5071 \cdot 130,1) = 1450,4 \text{ кДж/м}^3$$

Энтальпия продуктов сгорания после топки

$$I_z = 1450,4 + 1259,3 \cdot (1,14 - 1) = 1626,7 \text{ кДж/м}^3$$

Результаты расчетов по определению энтальпий при различных температурах газов сводим в таблицу (5.5).

Таблица 5.5 – Энтальпии продуктов сгорания в газоходах котла

$\vartheta, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$I_g^0, \text{ кДж/м}^3$	$I_z^0, \text{ кДж/м}^3$	$I_z = I_z^0 + I_g^0 \cdot (\alpha^{cp} - 1), \text{ кДж/м}^3$			
			$\alpha_m'' = 1,14$		$\alpha_m'' = 1,2$	
			$I, \text{ кДж/м}^3$	$\Delta I, \text{ кДж/м}^3$	$I, \text{ кДж/м}^3$	$\Delta I, \text{ кДж/м}^3$
1	2	3	4	5	6	7
30	385,3	–	–	–	–	–
100	1259,3	1450,4	1626,7	–	1702,2	–
200	2533,8	2929,3	3284,1	1657,4	3436,1	1733,9
300	3824,5	4449,8	4985,2	1701,1	5214,7	1778,6
400	5143,6	6003,3	6723,4	1738,2	7032,0	1817,3
500	6500,7	7601,3	8511,4	1788	8901,4	1869,5
600	7876,7	9240,9	10343,7	1832,3	–	–
700	9290,7	10921,1	12221,8	1878,1	–	–
800	10714,2	12631,3	14131,3	1909,5	–	–
900	12175,7	14384,1	16088,7	1957,4	–	–
1000	13646,6	16164,9	18075,4	1986,8	–	–
1100	15136,6	17963,8	20082,9	2007,5	–	–
1200	16645,5	19794,2	22124,6	2041,7	–	–
1300	18163,9	21590,6	24133,6	2009	–	–
1400	19701,2	23455,1	26213,3	2079,7	–	–
1500	21248,1	25339,1	28313,9	2100,6	–	–
1600	22804,5	27238,7	30431,3	2117,4	–	–

Продолжение таблицы 5.5

1	2	3	4	5	6	7
1700	24360,8	29162,3	32572,8	2141,5	–	–
1800	25926,7	31091,9	34721,7	2148,8	–	–
1900	27511,5	33027,6	36879,2	2157,5	–	–
2000	29096,3	34979,7	39053,2	2174	–	–
2100	30690,7	36942,4	41239,1	2185,9	–	–
2200	32285,0	38909,1	43429,0	2189,9	–	–

### 5.2.3 Тепловой баланс котельного агрегата и расход топлива

Составление теплового баланса котельного агрегата заключается в установлении равенства между поступившим в агрегат количеством тепла, называемым располагаемым теплом  $Q_p^p$  и суммой полезно использованного тепла  $Q_1$ , тепловых потерь с уходящими газами  $Q_2$ , тепловых потерь от химической неполноты сгорания  $Q_3$ , тепловых потерь от механической неполноты сгорания  $Q_4$ , тепловых потерь от наружного охлаждения  $Q_5$  и потерь с теплом шлака  $Q_6$ . Сведем расчет теплового баланса в таблицу (5.6).

Таблица 5.6 – Расчет теплового баланса котла

Наименование	Обозначение	Расчетная формула или способ определения	Ед. измерения	Расчет
1	2	3	4	5
Располагаемая теплота сгорания топлива	$Q_p^p$	$Q_n^p + Q_{в.н} + i_{мл}$	кДж/м <sup>3</sup>	$36764,6 + 0 + 0 = 36764,6$
Потеря теплоты от химической неполноты сгорания топлива	$q_3$	Табл. 4 – 3 [36]	%	0,5
Потеря теплоты от механической неполноты сгорания топлива	$q_4$	Табл. 4 – 3 [36]	%	0
Температура уходящих газов	$t_{ух}$	По выбору, табл. 1–3 [36]	°С	160

Продолжение таблицы 5.6

1	2	3	4	5
Энтальпия уходящих газов	$I_{yx}$	По I-υ таблице	кДж/м <sup>3</sup>	3042
Температура воздуха в котельной	$t_{x.в.}$	По выбору	°С	30
Теоретическая энтальпия воздуха в котельной	$I^0_{x.в.}$	Табл. 5.5 (при 30°С)	кДж/м <sup>3</sup>	385,3
Потеря теплоты с уходящими газами	$q_2$	$\frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} I^0_{x.в.})(100 - q_4)}{Q^p_p}$	%	$\frac{(3042 - 1,14 \cdot 385,3) \cdot 100}{36764,5} = 6,99$
Потеря теплоты от наружного охлаждения	$q_5$	По рис. 3-1 [36]	%	1,9
Сумма тепловых потерь	$\sum q$	$q_5 + q_4 + q_3 + q_2$	%	$1,9 + 0 + 0,5 + 6,99 = 9,4$
КПД котельного агрегата	$\eta_{ка}$	$100 - \sum q$	%	$100 - 9,4 = 90,6$
Коэффициент сохранения теплоты	$\varphi$	$1 - \frac{q_5}{\eta_{ка} + q_5}$	-	$1 - \frac{1,9}{90,6 + 1,9} = 0,98$
Температура воды на входе в котел	$t'$	По техническим характеристикам котла	°С	70
Энтальпия воды на входе в котел	$I'_в$	$I' = t' \cdot c_p$ , где $c_p$ – теплоемкость воды, равная 4,19 кДж/(м <sup>3</sup> ·К)	кДж/м <sup>3</sup>	$70 \cdot 4,19 = 294,6$
Температура воды на выходе из котла	$t''$	По техническим характеристикам котла	°С	150

Окончание таблицы 5.6

1	2	3	4	5
Энтальпия воды на выходе из котла	$I''_в$	$I' = t'' \cdot c_p,$	кДж/м <sup>3</sup>	$150 \cdot 4,19 = 633,1$
Расход питательной воды через котел	$G$	Табл. 5.1	кг/с	102,8
Расход топлива на котел	$B$	$\frac{G_c \cdot c_p \cdot (t_1 - t_2)}{Q_p^H \cdot \eta}$	м <sup>3</sup> /с	$\frac{102,8 \cdot 4,19 \cdot (150 - 70)}{0,906 \cdot 36764} = 1,047$

### 5.2.4 Поверочный расчет топки

При поверочном расчете топки по ее тепловым и конструктивным характеристикам определяют температуру газов на выходе из топки  $\mathcal{G}_m$ ''.

Результаты расчета сведем в таблицу (5.7).

Таблица 5.7 – Поверочный расчет топки

Величина	Обозначение	Расчетная формула или способ определения	Ед. изм.	Расчет
1	2	3	4	5
Суммарная площадь лучевоспр. поверхности	$H_{л}$	По конструктивным характеристикам котла	м <sup>2</sup>	126,9
Полная площадь стен топочной камеры	$F_{ст}$	По конструктивным характеристикам котла	м <sup>2</sup>	137,2
Объем топочной камеры	$V_m$	По конструктивным характеристикам котла	м <sup>3</sup>	81,5
Коэффициент загрязнения	$\xi$	[6, табл. 6.1]	-	0,65
Коэффициент тепловой эффективности экранов	$\psi$	$\xi \cdot \frac{H_{л}}{F_{ст}}$	-	$0,65 \cdot \frac{126,9}{137,2} = 0,67$
Эффективная толщина излучающего слоя	$S$	$3,6 \cdot \frac{V_m}{F_{ст}}$	м	$3,6 \cdot \frac{81,5}{137,2} = 2,138$

Продолжение таблицы 5.7

1	2	3	4	5
Полная высота топки	$H_T$	по конструктивным размерам	м	2,05
Высота расположения горелок	$h_r$	по конструктивным размерам	м	1,65
Относительный уровень расположения горелок	$x_T$	$\frac{h_r}{H_m}$	—	$\frac{1,65}{2,05} = 0,8$
Коэф. избытка воздуха на выходе из топки	$\alpha_T$	Табл. 5.3	—	1,14
Кол-во теплоты, вносимое в топку воздухом	$Q_{в}$	$I_{хв} \cdot \alpha_m$	кДж/ м <sup>3</sup>	$385,3 \cdot 1,14 = 439,2$
Полезное тепловыделение топке	$Q_T$	$Q_p^p \cdot \frac{100 - q_3}{100}$	кДж/ м <sup>3</sup>	$36764,5 \cdot \frac{100 - 0,5}{100} + 439,2 = 36601,47$
Адиабатическая температура горения	$\vartheta_a$	Принимается при $Q_m$ по табл. 5.2.	°С	1996,6
Температура газов на выходе из топки	$\vartheta''_m$	По выбору, табл. 5–3 [37]	°С	1050
Энтальпия газов на выходе из топки	$I''_T$	Табл. 1–4 [37]	кДж/м <sup>3</sup>	19929,29
Средняя суммарная теплоем. продуктов сгорания	$V_{c_{cp}}$	$\frac{Q_m - I''_m}{\vartheta_a - \vartheta''_m}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$	$\frac{36601,47 - 19929,29}{1996,6 - 1050} = 17,61$
Объемная доля: Водяных паров Трехатомных газов	$r_{H_2O}$	Табл. 1–2 [37]	—	0,178
	$r_{RO_2}$	Табл. 1–2 [37]	—	0,084
Суммарная объемная доля трехатомных газов	$r_n$	Табл. 1-2 [37]	—	0,262

Продолжение таблицы 5.7

1	2	3	4	5
Коэф. ослабления лучей трехатомными газами	$k_r$	[5, номограмма 2]	–	15
Коэффициент ослабления лучей для несветящихся трехатомных газов	$k_{нсв}$	$k_z \cdot r_n$	$\frac{1}{m \cdot \text{МПа}}$	$15 \cdot 0,262 = 3,93$
Степень черноты топочной среды для несветящегося газового пламени	$a_{нсв}$	$a_{нсв} = 1 - e^{-k_{нсв} \cdot P \cdot s}$	–	$1 - e^{-3,93 \cdot 0,12 \cdot 1,38} = 0,57$
Соотношение между содержанием углерода и водорода в рабочей массе топлива	$\frac{C^p}{H^p}$	$0,12 \cdot \sum \frac{m}{n} \cdot C_m H_n$	–	$0,12 \cdot (0,25 \cdot 98,24 + 0,33 \cdot 0,29 + 0,375 \cdot 0,2 + 0,4 \cdot 0,09 + 0,42 \cdot 0,04 + 0,43 \cdot 1,0) = 3,03$
Коэффициент ослабления лучей сажистыми частицами	$k_{саж}$	$0,3(2 - \alpha_m) \cdot \left(1,6 \frac{g_m''}{1000} - 0,5\right) \cdot \frac{C^p}{H^p}$	–	$0,3(2 - 1,14) \cdot (1,6 \cdot 1,05 - 0,5) \cdot 3,03 = 0,922$
Коэффициент ослабления лучей для светящегося газового пламени	$k_{св}$	$k_z \cdot r_n + k_{саж}$	$\frac{1}{m \cdot \text{МПа}}$	$15 \cdot 0,262 + 0,922 = 4,852$
Степень черноты топочной среды для светящегося газового потока	$a_{св}$	$1 - e^{-k_{св} \cdot P \cdot s}$	–	$1 - e^{-4,852 \cdot 0,12 \cdot 1,38} = 0,65$
Коэффициент заполнения топочного объема светящимися газами	$m$	Принимается [6]	-	0,1
Степень черноты факела	$a_\phi$	$m \cdot a_{св} + (1 - m) \cdot a_{нсв}$	–	$0,1 \cdot 0,65 + (1 - 0,1) \cdot 0,57 = 0,307$

Степень черноты топки	$a_T$	$\frac{a_\phi}{a_\phi + (1 - a_\phi) \cdot \psi_{cp}}$	-	$\frac{0,307}{0,307 + (1 - 0,307) \cdot 0,67} = 0,97$
-----------------------	-------	--	---	---

Окончание таблицы 5.7

1	2	3	4	5
Тепловая нагрузка стен топки	$q_F$	$\frac{B_p \cdot Q_m}{F_{cm}}$	кВт/м <sup>2</sup>	$\frac{1,047 \cdot 36601}{137,2} = 279$
Температура газов на выходе из топки	$v''_T$	Рис. 5–8 [37]	°С	1090
Энтальпия газов на выходе из топки	$I''_T$	Табл. 1–4 [37]	кДж/м <sup>3</sup>	20768,49
Общее тепловосприятие топки	$Q^l_T$	$\phi \cdot (Q_m - I''_m)$	кДж/м <sup>3</sup>	$0,98(36601,47 - 20768,49) = 16516,3$
Тепловая нагрузка лучевоспринимающей поверхности	$q^{cp}_л$	$B_p \cdot \frac{Q_l}{H_l}$	кВт/м <sup>3</sup>	$1,047 \cdot \frac{15516,3}{126,9} = 128$

## 5.2.5 Расчет фестона

Поверочный тепловой расчёт фестона сводится к определению количества тепла, воспринимаемого фестоном. Количество теплоты, воспринимаемое фестоном, рассчитывается по уравнению теплового баланса и по уравнению теплопередачи. Результаты расчётов сравниваются, если расхождение результатов расчётов по уравнению теплового баланса и по уравнению теплопередачи не превышает  $\pm 5\%$ , то расчёт считается выполненным.

Конструктивно фестон состоит из труб заднего экрана, но размещенных с увеличенным поперечным  $S_1=200 \div 300$  мм и продольным  $S_2=250 \div 400$  мм шагами. При этом трубы фестона разводятся в несколько рядов  $Z_2$ . Иногда фестон выполняется из труб большего диаметра (около 100 мм), расположенных в один ряд ( $S_1=400 \div 800$  мм).

Из расчета топки для предыдущей поверхности нагрева известными являются температура и энтальпия газов перед фестоном. Температура газов за фестоном 7–

										Лист
										25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2017.101.04 ПЗ					

10 °С, для двухрядных – 15–20 °С, для трехрядных фестонов – 30–40 °С и для четырехрядных – 50–60 °С (меньшее значение для влажного топлива, большее – для сухого). Количество рядов по ходу газов в фестоне  $Z_2$  принимается из чертежа котла.

Объем газов на единицу топлива  $V_2$  определяется по избытку воздуха на выходе из топки.

Геометрические параметры фестона:

- наружный диаметр труб  $d_H = 60$  мм;
- число рядов труб по ходу движения газов  $Z_2 = 4$ ;
- поперечный шаг труб  $S_1 = 256$  мм;
- продольный шаг труб  $S_2 = 180$  мм;
- расположение труб - шахматное;
- размер поверхности нагрева  $F_\phi = 126.9$  м<sup>2</sup>;
- живое сечение для прохода газов  $f = 42.3$  м<sup>2</sup>.

Расчёт энтальпии дымовых газов на выходе из фестона:

Температуру дымовых газов перед фестоном принимаем равной температуре газов на выходе из топки.

$$g'_\phi = g''_m = 1090 \text{ °С},$$

$$H'_\phi = H''_T = 19929,3 \text{ кДж/кг}.$$

Температуру дымовых газов за фестоном определяем по формуле (5.7), °С:

$$g''_\phi = g'_\phi - \Delta g_\phi = 1090 - 70 = 1020, \quad (5.7)$$

где принимаем  $\Delta g_\phi = 70$  °С – охлаждение газов в фестоне.

Энтальпия дымовых газов на выходе из фестона определяется по формуле (5.8), кДж/м<sup>3</sup>

$$H''_\phi = 9811,37 + \frac{(19929,3 - 9811,37) \cdot 50}{200} = 12340,85 \text{ кДж/м}^3 \quad (5.8)$$

Расчёт теплоты, воспринимаемой фестоном, по уравнению теплового баланса (5.9), кДж/м<sup>3</sup>

$$Q_\phi = Q_{\phi, \text{б.}\phi} + Q_{\phi, \text{л.}\phi} \quad (5.9)$$

Теплота, отданная газами  $Q_{\phi, \text{б.}\phi}$ , рассчитывается по формуле (5.10), кДж/кг

$$Q_{\phi, \text{б.}\phi} = \phi \left( H'_\phi - H''_\phi + \Delta \alpha H^0_{\text{прис}} \right), \quad (5.10)$$

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26



где  $\phi$  – коэффициент сохранения теплоты, учитывает потери теплоты поверхностью нагрева в окружающую среду,  $\phi = 0,99$ ;

$H'_\phi, H''_\phi$  – энтальпия газов соответственно на входе в фестон и на выходе из фестона, кДж/м<sup>3</sup>;

$\Delta\alpha$  – изменение коэффициента избытка воздуха в поверхности охлаждения (фестона),  $\Delta\alpha = 0$ ;

$H^0_{прис}$  – энтальпия присасываемого воздуха, кДж/м<sup>3</sup>.

$$Q_{\phi} = 0,99 \cdot (19929,3 - 12340,85) = 937,655 \text{ кДж/кг}$$

Теплота  $Q_{л.\phi}$ , кДж/м<sup>3</sup>, полученная фестоном излучением из топки, определена ранее (табл. 5.6)

$$Q_{л.\phi} = 15516,3 \text{ кДж/м}^3$$

Тепло, полученное фестоном излучением из топки определяется по формуле (5.11)

$$Q_{л.\phi} = 0,74 \cdot 15516,3 = 1054,4 \text{ кДж/м}^3;$$

$$Q_{\phi} = Q_{\phi} + Q_{л.\phi} = 937,65 + 1054,4 = 1992,5 \text{ кДж/м}^3$$

Расчёт теплоты, воспринимаемой фестоном, теплопередачей:

Количество тепла  $Q_T$ , кДж/м<sup>3</sup>, передаваемое фестону по условию теплопередачи определяем по формуле (5.11)

$$Q_T = \frac{F_{\phi} \cdot K \cdot \Delta t}{10^3 \cdot B_p}, \quad (5.11)$$

где  $F$  – расчетная теплообменная поверхность фестона, м<sup>2</sup>;

$K$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup> К);

$\Delta t$  – усредненный по всей теплообменной поверхности температурный напор, °С;

$B_p$  – расчетный расход топлива, м<sup>3</sup>/с.

Усредненный температурный напор определяем по рекомендациям, изложенным в [37], при неизменной температуре одной из сред. Температуру воды в фестоне определяем по табл. XXIII [37].

$$t_{\phi} = 90 \text{ °С:}$$

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

$$\Delta t_{\delta} = \mathcal{G}'_{\phi} - t_{\phi} = 1090 - 90 = 1000 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (5.12)$$

$$\Delta t_{\text{м}} = \mathcal{G}''_{\phi} - t_{\phi} = 1020 - 90 = 930 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (5.13)$$

Усредненный температурный напор определяем по формуле (5.14)

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{2,31 \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}} = \frac{1000 - 930}{2,31 \lg \frac{1000}{930}} = 701,34 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (5.14)$$

Расчетную скорость  $W_{\Gamma}$ , м/с, газов в фестоне определяем по формуле (5.15)

$$W_{\Gamma} = \frac{B_p \cdot V_{\Gamma} (\mathcal{G}_{\text{ср}} + 273)}{273 \cdot f}, \quad (5.15)$$

где  $V_{\Gamma}$  – полный объем газов при сжигании 1 м<sup>3</sup> топлива при 0,1 МПа и 0 °С, определяемый по среднему избытку воздуха в газоходе, м<sup>3</sup>/кг,  $V_{\Gamma} = 12,009 \text{ м}^3/\text{м}^3$  [табл. 5.4];  
 $\mathcal{G}_{\text{ср}}$  – средняя температура дымовых газов в фестоне °С, (5.16);  
 $f$  – живое сечение фестона (сечение для прохода газов), м<sup>2</sup>

$$\mathcal{G}_{\text{ср}} = \frac{\mathcal{G}'_{\phi} + \mathcal{G}''_{\phi}}{2} = \frac{1090 + 1020}{2} = 1055 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (5.16)$$

$$W_{\Gamma} = \frac{1,022 \cdot 12,009 \cdot (1055 + 273)}{273 \cdot 42,3} = 4,87 \text{ м/с}$$

Коэффициент теплопередачи  $K$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К), определяем по формуле (5.17):

$$K = \psi \cdot \alpha_1, \quad (5.17)$$

где  $\psi$  – коэффициент тепловой эффективности, принимается по табл. 6.4 [37],  $\psi=0,67$ ;

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от газов к стенке, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

$\alpha_1$  определяется по формуле (5.18), Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$$\alpha_1 = \xi(\alpha_k + \alpha_l), \quad (5.18)$$

где  $\xi$  – коэффициент использования поверхности нагрева, учитывает неравномерное омывание поверхности газами (см. стр. 119 [37]), принимаем  $\xi=1$ ;

$\alpha_k = 105,84$  – коэффициент теплоотдачи конвекцией от газов к поверхности нагрева, Вт/(м<sup>2</sup>·К) (по табл. 4 – 3 [37]);

$\alpha_l = 11$  – коэффициент теплоотдачи излучением продуктов сгорания, Вт/(м<sup>2</sup>·К) (по табл. 4 – 3 [37])

$$\alpha_1 = 105,84 + 11 = 116,84 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$$

$$K = 0,67 \cdot 116,84 = 78,31 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$$

Количество тепла, передаваемое фестону по условию теплопередачи определяем по формуле (5.18), кДж/м<sup>3</sup>

$$Q_\phi = \frac{F_\phi \cdot K \cdot \Delta t}{10^3 \cdot B_p} = \frac{126,9 \cdot 78,31 \cdot 701,34}{10^3 \cdot 1,047} = 2040,012 \text{ кДж/м}^3$$

Невязка баланса теплот для фестона рассчитывается по формуле (5.19), %

$$|\Delta Q_\phi| = \frac{|Q_m - Q_\phi|}{Q_\phi} \cdot 100 \% = \frac{|2040,012 - 1992,5|}{1992,5} \cdot 100 \% = 2,4 \% \quad (5.19)$$

Невязка теплового баланса для фестона не превышает допустимого значения  $\pm 5$  %, расчет фестона считается законченным.

### 5.2.6 Расчет конвективного пучка

Конвективными называют такие поверхности нагрева, в которых процесс передачи теплоты осуществляется путем конвективного теплообмена.

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Конвективные пучки получают теплоту не только путем конвективного теплообмена, но и теплоту прямого излучения топки. При расчете такой поверхности нагрева используют методику расчета конвективных поверхностей нагрева с учетом тепловосприятости прямого излучения топки. Результаты теплового расчета конвективного пучка сведем в таблицу (5.8).

Таблица 5.8 – Тепловой расчет конвективного пучка

Величина	Обозначение	Формула или способ определения	Ед. изм.	Расчет
1	2	3	4	5
Полная площадь поверхности нагрева	H	По конструктивным размерам	м <sup>2</sup>	592,6
Диаметр труб	d	По конструктивным размерам	мм	28
Средняя длина труб	l	По конструктивным размерам	мм	75
Поперечный шаг труб	s <sub>1</sub>	По конструктивным размерам	мм	64
Продольный шаг труб	s <sub>2</sub>	По конструктивным размерам	мм	40
Относительный поперечный шаг труб	s <sub>1</sub> /d	По конструктивным размерам	–	$\frac{64}{28} = 2,29$
Относительный продольный шаг труб	s <sub>2</sub> /d	По конструктивным размерам	–	$\frac{40}{28} = 1,43$
Эффективная толщина излучающего слоя	s	$0,9 \cdot \left( \frac{4 \cdot s_1 \cdot s_2}{\pi \cdot d^2} - 1 \right) \cdot d$	м	$0,9 \cdot \left( \frac{4 \cdot 64 \cdot 40}{3,14 \cdot 28^2} - 1 \right) \cdot 28 = 0,08$

Продолжение таблицы 5.8

1	2	3	4	5
Температура газов перед конвективным пучком	$\nu'$	$\nu''_{\phi}$ – из расчета фестона	°С	1020
Энтальпия газов перед конвективным пучком	$I'$	$I''_{\phi}$	кДж/м <sup>3</sup>	18476,9
Температура газов за конвективным пучком	$\nu''$	По характеристикам котла	°С	160
Энтальпия газов за конвективным пучком	$I''$	По табл. 5.5	кДж/ м <sup>3</sup>	2705,5
Количество теплоты, отданное конвективному пучку	$Q_{\Gamma}$	$\phi \cdot (I' - I'')$	кДж/ м <sup>3</sup>	$0,98 \cdot (18476,9 - 2705,5) = 15425,3$
Средняя температура газов	$\nu_{\text{ср}}$	$0,5 \cdot (\nu' + \nu'')$	°С	$0,5 \cdot (1020 + 160) = 534$
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$\alpha_{\kappa}$	[6, рис П.5 (а)]	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	105,84
Степень черноты излучающей среды	$a$	[37, ном. 17]	–	0,12
Коэффициент тепловой эффективности	$\psi$	[6, табл. 7.1]	–	0,8
Температура загрязнения стенки трубы	$t_{\text{ст}}$	$t_{\text{кин}} + \Delta t$	°С	135
Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha_{\text{л}}$	[37, ном. 18]	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	11
Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	$\alpha_1$	$\zeta(\alpha_{\kappa} + \alpha_{\text{л}})$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	116,84

Окончание таблицы 5.8

1	2	3	4	5
Тепловосприятие конвективного пучка	$\varepsilon_0$	$\psi \cdot \alpha_1$	$\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	92
Средний температурный напор	$\Delta t$	Табл. 6–1 [2]	°С	353
Расхождение расчетных тепловосприятий	$\Delta Q$	$\frac{Q_m - Q_z}{Q_m} \cdot 100$	%	$\frac{16516,3 - 15425,3}{16516,3} \cdot 100 = 0,6$

Основные данные из теплового расчета котла сведем в таблицу (5.9).

Таблица 5.9 – Тепловой баланс котла

Величина	Обозначение	Единица	Результат
1	2	3	4
Располагаемая теплота топлива	$Q_p^p$	кДж/м <sup>3</sup>	36764,6
Температура уходящих газов	$v_{yx}$	°С	160
Потери теплоты с уходящими газами	$q_2$	%	6,99
<b>КПД</b>	$\eta$	%	90,6
Расход топлива на котел	$V_p$	м <sup>3</sup> /с	1,047
<b>Топка</b>	–	–	–
Теплота, вносимая воздухом	$Q_v$	кДж/м <sup>3</sup>	439,2
Полезное тепловыделение	$Q_T$	кДж/м <sup>3</sup>	36601,47
Температура газов на выходе из топки	$v''_T$	°С	1090
Энтальпия газов на выходе из топки	$I''_T$	кДж/м <sup>3</sup>	19929,29
Тепловосприятие топки	$Q''_T$	кДж/м <sup>3</sup>	15516,3
<b>Фестон</b>	–	–	–
Температура газов перед фестомом	$g'_f$	°С	1090
Температура газов после фестона	$g''_f$	°С	1020
Тепловосприятие фестона	$Q_f$	кДж/м <sup>3</sup>	2040,012
<b>Конвективный пучок</b>	–	–	–
Температура газов на входе	$v'$	°С	1020

Продолжение таблицы 5.9

1	2	3	4
Температура газов на выходе	$\nu''$	°C	160
Энтальпия газов на входе	$I'$	кДж/м <sup>3</sup>	20768,49
Энтальпия газов на выходе	$I''$	кДж/м <sup>3</sup>	2705,5
Тепловосприятие пучка	$Q_{\Gamma}$	кДж/м <sup>3</sup>	17701,4

**Невязка**

Расчетная невязка теплового баланса рассчитывается по формуле (5.20), кДж/м<sup>3</sup>

$$\Delta Q = [Q_p^p \eta - (Q_l^m + Q_z^{kn})] \quad (5.20)$$

$$\Delta Q = [36764 \cdot 0,906 - (17701,4 + 15516,3)] = 91 \text{ кДж/м}^3$$

Невязка находится по формуле (5.21), %

$$X = \frac{\Delta Q}{Q_p^p} \cdot 100\% \quad (5.21)$$

$$X = \frac{91}{36764} \cdot 100\% = 0,2 \%$$

Невязка не превысила 0,5% – считаем расчет завершенным.

### 5.3 Аэродинамический расчет котельного агрегата

Аэродинамический расчет газо-воздушного тракта котла выполняется с целью определения аэродинамических сопротивлений всех элементов установки и выбора необходимого тяго-дутьевого оборудования. Газо-воздушный тракт включает в себя: воздуховоды, газоходы, вентиляторы, дымососы, котельные агрегаты и дымовые трубы. По данным этого расчета определены: размеры дымовой трубы; типоразмеры дымососов и дутьевых вентиляторов [53].

Разрез котла ПТВМ-30 представлен на рисунке 5.1.

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

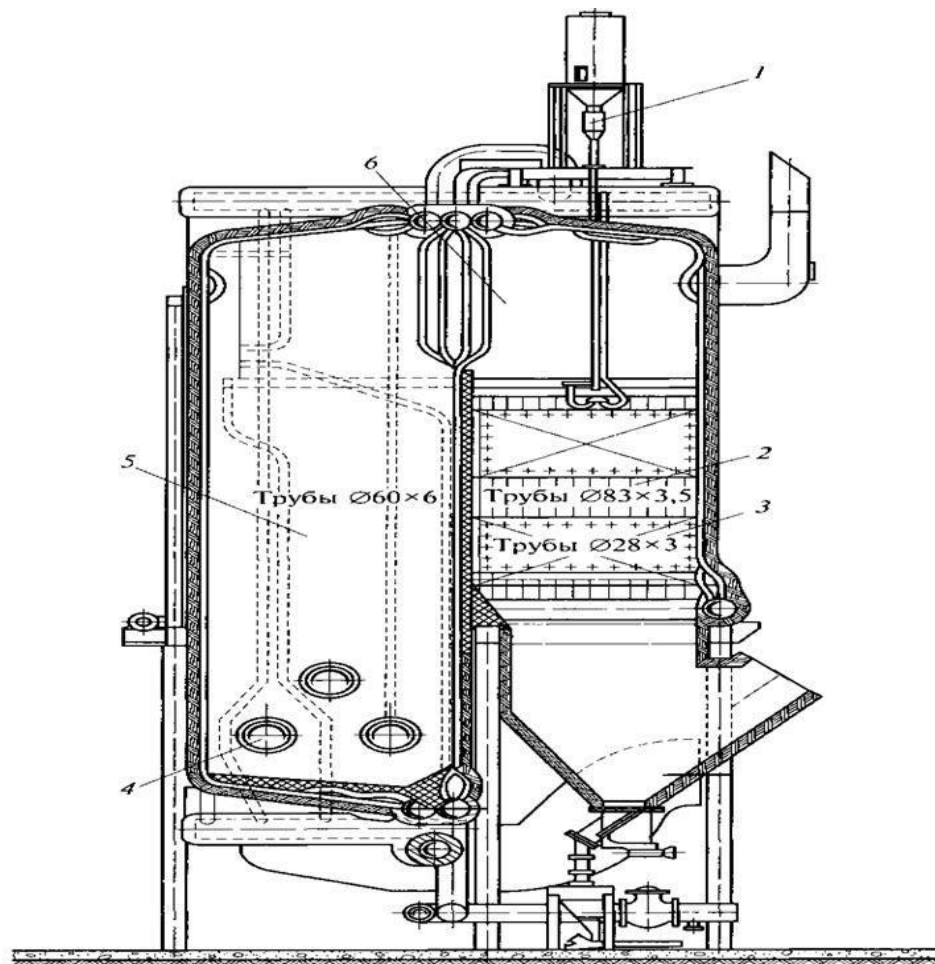


Рисунок 5.1 – Котел ПТВМ-30:

1 – дробеочистительное устройство; 2 – конвективная шахта; 3 – конвективная поверхность нагрева; 4 – газовая горелка; 5 – топочная камера; 6 – поворотная камера

### 5.3.1 Аэродинамический расчет воздушного тракта котла

Сопrotивление воздухопровода холодного воздуха

Из теплового расчета котельного агрегата принимается теоретический объем воздуха, подаваемого на горение  $V^0$ , расход топлива  $B_p$  и температура воздуха  $t_g$ :  
 $V^0 = 9,49 \text{ м}^3 / \text{м}^3$ ,  $B_p = 1,047 \text{ м}^3 / \text{с}$ ,  $t_g = 22,8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Площади поперечного сечения воздухопровода для двух характерных значений скоростей движения воздуха  $w_g = 8$  и  $w_g = 12 \text{ м/с}$  определяются по формуле (5.23),  $\text{м}^2$

$$f_{(w)} = \frac{V^0 \cdot B_p \cdot (t_g + 273)}{w_g \cdot 273} \quad (5.23)$$

									Лист
									34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

13.03.01.2017.101.04 ПЗ



$$f_{(8)} = \frac{9,49 \cdot 1,047 \cdot (22,8 + 273)}{8 \cdot 273} = 1,35 \text{ м}^2$$

$$f_{(12)} = \frac{9,49 \cdot 1,047 \cdot (22,8 + 273)}{12 \cdot 273} = 0,89 \text{ м}^2$$

Площадь поперечного сечения воздуховода  $f_{e,d}$  выбирается в диапазоне от  $f_{(8)}$  до  $f_{(12)}$  (прил. 1 [53]).

Таким образом  $f_{e,d} = 0,96 \text{ м}^2$  – прямоугольный канал из листовой стали 800x1200 толщиной  $\delta = 0,7 \text{ мм}$ .

Действительная скорость движения воздуха в воздуховодах определяется по формуле (5.24) [53]

$$w_{d.e.} = \frac{V^0 \cdot B_p \cdot (t_e + 273)}{f \cdot 273} \quad (5.24)$$

$$w_{d.e.} = \frac{9,49 \cdot 1,047 \cdot (22,8 + 273)}{0,96 \cdot 273} = 11,21 \text{ м/с}$$

Соппротивление трения в воздуховоде определяется по формуле (5.25), Па

$$\Delta h_{mp} = \lambda \cdot \frac{l}{d_3} \cdot h_d, \quad (5.25)$$

где  $\lambda$  – коэффициент сопротивления трения (для металлических каналов  $\lambda = 0,02$ );

$l$  – длина воздуховода от всасывающего патрубка до котла,  $l = 45,4 \text{ м}$ ;

$h_d$  – динамический напор, определяемый по скорости воздуха  $w_{d.e.} = 11,21 \text{ м/с}$  и температуре  $t_e = 22,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $h_d = 70 \text{ Па}$  [25, рис.3];

$d_3$  – эквивалентный диаметр, определяется по формуле (5.26), м

$$d_3 = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}, \quad (5.26)$$

где  $a$  и  $b$  – размеры сторон прямоугольного сечения, м

$$d_3 = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 1,2}{0,8 + 1,2} = 0,96 \text{ м}$$

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

$$\Delta h_{mp} = 0,02 \cdot \frac{45,4}{0,96} \cdot 70 = 66 \text{ Па}$$

Местные сопротивления воздуховода определяется по формуле (5.27), Па

$$\Delta h_m = \sum \xi \cdot h_d, \quad (5.27)$$

где  $\sum \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений (5.28)

$$\sum \xi = \xi_{ex} + \xi_{nam} + \xi_{нов}, \quad (5.28)$$

где  $\xi_{ex}$  – коэффициент сопротивления на входе в канал с прямыми кромками,  $\xi_{ex} = 0,5$ ;

$\xi_{nam}$  – коэффициент сопротивления патрубка для забора воздуха, при отсутствии заслонок,  $\xi_{ex} = 0,2$ ;

$\xi_{нов}$  – коэффициент сопротивления поворота  $\xi_{нов} = 1$ , для 4 поворотов –  $\xi_{нов} = 4$ ;

$$\sum \xi = 0,5 + 0,2 + 4 = 4,7$$

$$\Delta h_m = 4,7 \cdot 70 = 329 \text{ Па}$$

Сопротивление воздуховода холодного воздуха определяется по формуле (5.29), Па

$$\Delta h_g = \Delta h_m + \Delta h_{mp}, \quad (5.29)$$

$$\Delta h_g = 329 + 66 = 395 \text{ Па}$$

Суммарное сопротивление воздушного тракта определяется по формуле (5.30), Па

$$\Delta H_g = \Delta h_g + \Delta h_{mp} + \Delta h_m \quad (5.30)$$

$$\Delta H_g = 395 + 66 + 329 = 790 \text{ Па}$$

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Выбор вентилятора:

Производительность вентилятора найдем по формуле (5.31), м<sup>3</sup>/с

$$Q_p = \beta_{np} \cdot B_p \cdot V^0 \cdot (\alpha_m - \Delta\alpha_m + \Delta\alpha_{en}) \cdot \frac{t_{xв} + 273}{273}, \quad (5.31)$$

где  $\alpha_m$  – коэффициент избытка воздуха в топке (принимается из теплового расчета котельного агрегата),  $\alpha_m = 1,14$ ;

$\Delta\alpha_m$  – присосы воздуха в топке,  $\Delta\alpha_m = 0,14$ ;

$\Delta\alpha_{en}$  – присосы воздуха в воздухоподогревателе,  $\Delta\alpha_{en} = 1,29$ ;

$\beta_{np}$  – коэффициент запаса по производительности,  $\beta_{np} = 1,1$  [53];

$$Q_p = 1,1 \cdot 1,047 \cdot 9,49 \cdot (1,14 - 0,14 + 1,29) \cdot \frac{22,8 + 273}{273} = 27,12 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для обеспечения надежной работы котельной установки на один котел устанавливают 2 вентилятора. Производительность одного вентилятора находится по формуле (5.32), м<sup>3</sup>/с

$$Q_e = \frac{Q_p}{2} \quad (5.32)$$

$$Q_e = \frac{27,12}{2} = 13,56 \text{ м}^3/\text{с}$$

Полное давление, которое должен развивать вентилятор найдем по формуле (5.33), Па

$$H_e = \beta_2 \cdot \Delta H_e, \quad (5.33)$$

$$H_e = 1,1 \cdot 790 = 869 \text{ Па}$$

где  $\beta_2$  – коэффициент запаса по давлению для обеспечения надежности работы  $\beta_2 = 1,1$  [37].

Вентилятор ВДН-9у:

– производительность  $P = 13,9 \text{ м}^3/\text{с}$ ,

– напор при  $H = 1220 \text{ Па}$ ,

– мощность электродвигателя  $N = 14 \text{ кВт}$ .

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### 5.3.2 Аэродинамический расчет газового тракта котла

Сопrotивление газового тракта котельного агрегата складывается из сопротивления трубчатых поверхностей нагрева, расположенных в газоходах (экономайзер, воздухоподогреватель), местных сопротивлений и сопротивлений трения в газоходе.

Сопrotивление экономайзера:

Сопrotивление экономайзера определяется по формуле (5.34), Па

$$\Delta h_{\text{эк}} = \Delta h_{\text{зр}} \cdot C_s \cdot C_d \cdot (z_2 + 1), \quad (5.34)$$

где  $\Delta h_{\text{зр}}$  – сопротивление одного ряда труб шахматных пучков определяемый по скорости газа в экономайзере  $w = 4,82$  м/с, температуре  $t_{\text{г.б}} = 495$  °С, диаметре труб экономайзера  $d = 28$  мм с поперечным и продольным шагом  $S_1 = 40$  и  $S_2 = 64$  мм,  $\Delta h_{\text{зр}} = 3,5$  Па [25, рис.4];

$C_s$  – коэффициент формы шахматного пучка  $C_s = 1,35$  [25,рис.7];

$C_d$  – поправка на наружный диаметр труб  $C_d = 0,97$  [25,рис.7];

$z_2 = 33$  – количество рядов труб по глубине пучка;

$$\Delta h_{\text{эк}} = 3,5 \cdot 1,35 \cdot 0,97 \cdot (33 + 1) = 155 \text{ Па}$$

Сопrotивление воздухоподогревателя:

Сопrotивление трения в трубах воздухоподогревателя найдем по формуле (5.35), Па

$$\Delta h_{\text{тр}} = C_{\text{и}} \cdot \Delta h'_{\text{зр}} \cdot h_{\text{ен}}, \quad (5.35)$$

где  $C_{\text{и}}$  – поправка на внутренний диаметр трубок при скорости газа в воздухоподогревателе  $w = 2,8$  м/с и температуре  $t_{\text{г.б}} = 224$  °С диаметре труб воздухоподогревателя  $d = 35$  мм  $C_{\text{и}} = 1,1$  [53,рис.8];

$\Delta h'_{\text{зр}}$  – потеря давления в трубах трубчатых воздухоподогревателей  $\Delta h'_{\text{зр}} = 10$  Па [53,рис.8];

$h_{\text{ен}}$  – высота воздухоподогревателя,  $h_{\text{ен}} = 3$  м.

$$\Delta h_{\text{тр}} = 1,1 \cdot 10 \cdot 3 = 33 \text{ Па}$$

Сопrotивление, вызванное изменением скоростей газов при входе и выходе из воздухоподогревателя рассчитывается по следующей формуле (5.36), Па

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

$$\Delta h_{изм} = m \cdot (\xi_{вх} - \xi_{вых}) \cdot h_0, \quad (5.36)$$

где  $h_0$  – динамический напор, определяемый по скорости газа в воздухоподогревателе  $w = 2,8$  м/с и температуре  $t_{2,6} = 224^\circ\text{C}$ ,  $h_0 = 6$  Па [53, рис.3];

$\xi_{вых}$  – коэффициент сопротивления выхода из воздухоподогревателя, определяется по отношению меньшего к большему сечению канала  $F_M / F_0 = 0,41$ ,  $\xi_{вых} = 0,41$  [53,рис.9];

$\xi_{вх}$  – коэффициент сопротивления входа в воздухоподогреватель, определяется по формуле (5.37)

$$\frac{F_M}{F_0} = \frac{0,785d^2}{s_1 s_2} \quad (5.37)$$

где  $d$  – диаметр труб воздухоподогревателя, мм

$s_1$  и  $s_2$  – поперечный и продольный шаг труб воздухоподогревателя, мм

$s_1 = 64$  мм,  $s_2 = 40$  мм [56]

$$\frac{F_M}{F_0} = \frac{0,785 \cdot 35}{64 \cdot 40} = 0,41$$

$\xi_{вх} = 0,33$  [53,рис.9];

$m = 5$  – число ходов воздухоподогревателя.

$$\Delta h_{изм} = 5 \cdot (0,42 - 0,33) \cdot 6 = 2,7 \text{ Па}$$

Суммарное сопротивление воздухоподогревателя находим по формуле (5.38), Па

$$\Delta h_{ен} = \Delta h_{изм} + \Delta h_{тр} \quad (5.38)$$

$$\Delta h_{ен} = 2,7 + 33 = 35,7 \text{ Па}$$

Сопротивление газохода:

Местные сопротивления газохода найдем по формуле (5.39), Па

$$\Delta h_M = \sum \xi \cdot h_0, \quad (5.39)$$

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где  $\sum \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений (5.40)

$$\sum \xi = \xi_{\text{вх}} + \xi_{\text{д.тр}} + \xi_{\text{пов}} + \xi_{\text{ш}}, \quad (5.40)$$

$\xi_{\text{вх}}$  – коэффициент сопротивления на входе в канал с прямыми кромками,  
 $\xi_{\text{вх}} = 0,5$ ;

$\xi_{\text{д.тр}}$  – коэффициент сопротивления на входе в дымовую трубу,  $\xi_{\text{вх}} = 0,7$  [52];

$\xi_{\text{пов}}$  – коэффициент сопротивления поворота  $\xi_{\text{пов}} = 1$ , для 3 поворотов –  $\xi_{\text{пов}} = 3$ ;

$\xi_{\text{ш}}$  – коэффициент сопротивления шиберов,  $\xi_{\text{вх}} = 0,2$ .

$$\sum \xi = 0,5 + 0,7 + 3 + 0,2 = 4,4$$

$$\Delta h_{\text{м}} = 4,4 \cdot 80 = 308 \text{ Па}$$

Сопротивление трения в газоходе определяем по формуле (5.41), Па

$$\Delta h_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{l}{d_{\text{э}}} \cdot h_{\text{д}} \quad (5.41)$$

где  $\lambda$  – коэффициент сопротивления трения (для металлических каналов  $\lambda = 0,02$ );  
 $h_{\text{д}}$  – динамический напор, определяемый по скорости  $w_{\text{г}} = 7,4$  м/с и температуре газа  $t_{\text{г}} = 140$  °С,  $h_{\text{д}} = 33$  Па [53, рис.3];

$d_{\text{э}}$  – эквивалентный диаметр, определяется по формуле (5.42), м

$$d_{\text{э}} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}, \quad (5.42)$$

где а и b – размер поперечного сечения газохода а x b = 3,25 x 2,28

$$d_{\text{э}} = \frac{2 \cdot 3,25 \cdot 2,28}{3,25 + 2,28} = 1,91 \text{ м}$$

$$\Delta h_{\text{тр}} = 0,02 \cdot \frac{32,23}{1,91} \cdot 70 = 23,6 \text{ Па}$$

Сопротивление трения в дымовой трубе определяется по формуле (5.43), Па

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Delta h_{\text{д.тр}} = \lambda_H \cdot \frac{H}{d_{\text{тр}}} \cdot \frac{w_H}{2} \cdot \rho_z, \quad (5.43)$$

где  $\lambda_H$  – коэффициент сопротивления трения для бетонных и кирпичных труб  
 $\lambda_H = 0,05$ ;

$H$  – высота дымовой труб,  $H = 45$  м;

$d_{\text{тр}}$  – диаметр дымовой трубы,  $d_{\text{тр}} = 1$  м;

$w_H$  – скорость газов в дымовой трубе  $w_H = 8$  м/с;

$\rho_z$  – плотность газов определяется по формуле (5.44), кг/м<sup>3</sup>

$$\rho_z = \frac{353}{t_z + 273} \quad (5.44)$$

$$\rho_z = \frac{353}{140 + 273} = 0,854 \text{ кг/м}^3$$

$$\Delta h_{\text{д.тр}} = 0,05 \cdot \frac{45}{1} \cdot \frac{8^2}{2} \cdot 0,854 = 20,49 \text{ Па}$$

Сопротивление газохода найдем по формуле (5.45), Па

$$\Delta h_z = \Delta h_m + \Delta h_{\text{тр}} + \Delta h_{\text{д.тр}} \quad (5.45)$$

$$\Delta h_z = 308 + 23,6 + 20,49 = 352,09 \text{ Па}$$

Суммарное сопротивление газового тракта определяется по формуле (5.46), Па

$$\Delta H_{\text{д}} = \Delta h_{\text{эк}} + \Delta h_{\text{вн}} + \Delta h_z \quad (5.46)$$

$$\Delta H_{\text{д}} = 155 + 35,7 + 352,09 = 542,79 \text{ Па}$$

Перепад полных давлений по тракту определяется по формуле (5.47), Па

$$\Delta H_n = \Delta H_{\text{с}} + h'_m, \quad (5.47)$$

где  $h'_m$  – разряжение на выходе из топки,  $h'_m = 20$  Па [53].

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

$$\Delta H_n = 542,79 + 20 = 562,79 \text{ Па}$$

Выбор дымососа:

Производительность дымососа находим по формуле (5.48), м<sup>3</sup>/с

$$Q_p = \beta_{np} \cdot B_p \cdot (V_z + \Delta\alpha \cdot V^0) \cdot \frac{t_{xв} + 273}{273}, \quad (5.48)$$

где  $\alpha_m$  – коэффициент избытка воздуха в топке (принимается из теплового расчета котельного агрегата),  $\alpha_m = 1,15$ ;

$\Delta\alpha$  – присосы воздуха в газоходе в промежутке от воздухоподогревателя до дымососа,  $\Delta\alpha = 0,02$ ;

$\beta_{np}$  – коэффициент запаса по производительности,  $\beta_{np} = 1,1$  [53].

$$Q_p = 1,15 \cdot 1,047 \cdot (14,49 + 0,02 \cdot 9,49) \cdot \frac{160 + 273}{273} = 27,31 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для обеспечения надежной работы котельной установки на один котел устанавливают 2 дымососа. Производительность одного дымососа (5.49), м<sup>3</sup>/с

$$Q_s = \frac{Q_p}{2}, \quad (5.49)$$

$$Q_s = \frac{27,31}{2} = 13,66 \text{ м}^3/\text{с}$$

Определим полное давление, которое должен развивать дымосос по формуле (5.50), Па

$$H_s = \beta_2 \cdot \Delta H_n, \quad (5.50)$$

$$H_s = 1,2 \cdot 562,79 = 675,35 \text{ Па}$$

где  $\beta_2$  – коэффициент запаса по давлению для обеспечения надежности работы  $\beta_2 = 1,2$

Дымосос ДН-15:

- производительность  $P = 13,9 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- развиваемый напор  $H = 1000 - 3000 \text{ Па}$ ;
- мощность электродвигателя  $N = 75 \text{ кВт}$ .

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42



## 5.4 Расчет горелочных устройств котла

Для реконструкции котла ПТВМ-30ГМ выбраны горелочные устройства МГМГ – 6 модернизированной конструкции. Горелка МГМГ–6 вихревая газовая используется в котлах, печах, сушилках. Горелка МГМГ–6 способна работать как на газе низкого, так и среднего давления и на жидком топливе [54].

Газовая и воздушная камеры соединены между собой при помощи фланцев, что позволяет производить внутренний осмотр и ремонт горелки. На выходе из воздушной камеры расположены завихрители (лопатки), служащие для создания турбулентного воздушного потока и образования качественной газозвушной смеси. При этом газ подается через сопла из газовой камеры и подхватывается закрученным потоком воздуха. Сопла выполнены в одном из исполнений - для низкого или среднего давления газа. В воздушном и газовом патрубках предусмотрены штуцера для замера давления воздуха и газа. Розжиг горелки производится пламенем запальной горелки через смотровую трубу. Труба должна устанавливаться так, чтобы пламя запальника находилось перед насадком на центральной оси горелки на расстоянии 50 - 100 мм от него [54].

Основные технические характеристики горелки МГМГ-6 приведены в таблице (5.10).

Таблица 5.10 – Технические характеристики горелки МГМГ-6 [54]

Номинальная тепловая мощность, МВт	6,6
Номинальное давление газа, кПа	2
Расход газа, м <sup>3</sup> /час	490
Давление воздуха, кПа	7,5
Коэффициент избытка воздуха	1,05
Масса, (не более, кг)	119

Расход воздуха на горелку определяется по формуле (5.51), м<sup>3</sup>/с

$$G_g = \alpha \cdot V^0 \cdot B \quad (5.51)$$

где  $\alpha$  – коэффициент избытка воздуха горелки,  $\alpha = 1,05$ ;

$V^0$  – теоретически необходимое количество воздуха,  $V^0 = 9,49 \text{ м}^3 \text{ газа/м}^3 \text{ топл.}$ ;

$B$  – расход газа на одну горелку из теплового расчета  $B = \frac{1,047}{6} = 0,175 \text{ м}^3/\text{с}$ .

$$G_g = 1,05 \cdot 9,49 \cdot 0,175 = 1,74 \text{ м}^3/\text{с}$$

Площадь сечения для прохода воздуха находим по формуле (5.52), м<sup>2</sup>

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

$$F_6 = \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_2^2) \quad (5.52)$$

где  $D_1$  – диаметр корпуса горелки в месте прохода воздуха,  $D_1 = 0,346$  м;  
 $D_2$  – диаметр центрального газового коллектора, либо трубы для установки форсунки,  $D_2 = 0,05$  м [42].

$$F_6 = \frac{\pi}{4} \cdot (0,346^2 - 0,05^2) = 0,092 \text{ м}^2$$

Площадь сечения для прохода газа находится по формуле (5.53), м<sup>2</sup>

$$F_2 = n \cdot \frac{\pi \cdot d_{отв}^2}{4}, \quad (5.53)$$

где  $n$  – число газовыпускных отверстий,  $n = 12$  шт;  
 $d_{отв}$  – диаметр газовыпускных отверстий,  $d_{отв} = 0,018$  м [42].

$$F_2 = 12 \cdot \frac{\pi \cdot 0,018^2}{4} = 0,003 \text{ м}^2$$

Рассчитаем по формуле (5.54), (5.55) скорость истечения газа и воздуха с учетом температурной поправки, м/с

$$w_B = \frac{G_B \cdot \frac{273 + t_B}{273}}{F_B} \quad (5.54)$$

$$w_2 = \frac{B \cdot \frac{273 + t_2}{273}}{F_2} \quad (5.55)$$

$$w_6 = \frac{1,74 \cdot \frac{273 + 300}{273}}{0,092} = 39,7 \text{ м/с}$$

$$w_2 = \frac{0,175 \cdot \frac{273 + 20}{273}}{0,003} = 62,6 \text{ м/с}$$

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где  $t_2$  и  $t_6$  – температура воздуха и газа соответственно,  $t_2 = 20\text{ C}^\circ$   $t_6 = 300\text{ C}^\circ$ .

Необходимое давление воздуха и газа перед горелкой определяем по формулам (5.56) и (5.57), кг/м<sup>3</sup>

$$p_6 = \xi_6 \cdot \frac{\rho_6 w_6^2}{2} \quad (5.56)$$

$$p_2 = \xi_2 \cdot \frac{\rho_2 w_2^2}{2}, \quad (5.57)$$

где  $\xi$  – коэффициент сопротивления по газовому и воздушному тракту;  $\xi_6 = 1,0$ ;  
 $\xi_2 = 1,5$ ;

$\rho_6$  и  $\rho_2$  – плотность воздуха и газа соответственно.

Плотность газа при нормальных условиях рассчитывается по формуле (5.58), кг/м<sup>3</sup>

$$\begin{aligned} \rho_{г.н.у.} = \sum r_i \rho_i = & \frac{C_{H_4}}{100} \cdot \frac{16}{22,4} + \frac{C_{C_2H_6}}{100} \cdot \frac{30}{22,4} + \frac{C_{C_3H_8}}{100} \cdot \frac{44}{22,4} + \\ & + \frac{C_{C_4H_{10}}}{100} \cdot \frac{58}{22,4} + \frac{C_{C_5H_{12}}}{100} \cdot \frac{72}{22,4} + \frac{N_2}{100} \cdot \frac{28}{22,4} + \frac{H_2}{100} \cdot \frac{2}{22,4} \end{aligned} \quad (5.58)$$

Состав топлива приведен в таблице (5.2).

$$\begin{aligned} \rho_{г.н.у.} = & \frac{98,24}{100} \cdot \frac{16}{22,4} + \frac{0,29}{100} \cdot \frac{30}{22,4} + \frac{0,2}{100} \cdot \frac{44}{22,4} + \frac{0,09}{100} \cdot \frac{58}{22,4} + \frac{0,04}{100} \cdot \frac{72}{22,4} \\ & + \frac{1,0}{100} \cdot \frac{28}{22,4} = 0,714 \text{ кг/м}^3 \end{aligned}$$

Плотность газа действительная определяется по формуле (5.59), кг/м<sup>3</sup>

$$\rho_2 = \rho_{г.н.у.} \cdot \frac{273}{t_2 + 273} \quad (5.59)$$

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

$$\rho_z = 0,714 \cdot \frac{273}{20 + 273} = 0,67 \text{ кг/м}^3$$

Плотность воздуха действительная определяется по формуле (5.60), кг/м<sup>3</sup>

$$\rho_\epsilon = \rho_{\epsilon,н.у.} \cdot \frac{273}{t_\epsilon + 273}, \quad (5.60)$$

где  $\rho_{\epsilon,н.у.}$  – плотность воздуха при нормальных условиях,  $\rho_{\epsilon,н.у.} = 1,29 \text{ кг/м}^3$

$$\rho_\epsilon = 1,29 \cdot \frac{273}{300 + 273} = 0,615 \text{ кг/м}^3$$

Глубина проникновения газовых струй в поток воздуха находится по формуле (5.61), м

$$h = d \cdot k \cdot k_\beta \frac{w_\Gamma}{w_B} \sqrt{\frac{\rho_\Gamma}{\rho_B}}, \quad (5.61)$$

где  $k_\beta = \sin \beta$  – коэффициент, учитывающий угол между направлением потока и газовых струй  $k_\beta = 1$ ;  
 $k$  – коэффициент, зависящий от относительного шага  $s/d$  между отверстиями.  
 При  $s/d = 0,2$   $k = 1,4$  [42]

$$h = 0,018 \cdot 1 \cdot 1,4 \frac{62,6}{39,7} \sqrt{\frac{0,67}{0,615}} = 0,041 \text{ м}$$

Диаметр расширившейся струи определяется по формуле (5.62), м

$$D = 0,75 \cdot h \quad (5.62)$$

$$D = 0,75 \cdot 0,041 = 0,03 \text{ м}$$

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

## 5.5 Расчет экономии топлива, полученной в результате замены горелочных устройств

В бакалаврской работе повышение энергетической эффективности и энергосбережение котельного агрегата ПТВМ-30ГМ на котельной АО «Сигнал» осуществляется за счет замены существующих горелочных устройств на модернизированные газовые горелки МГМГ-6.

Коэффициент полезного действия котла ПТВМ-30ГМ, работающего при существующих горелках  $\eta_{ка} = 89,5\%$ , а после установки горелок МГМГ-6 –  $\eta_{ка} = 90,6\%$ .

Расход топлива на котел до повышения КПД составлял  $B_1 = 1,07 \text{ м}^3/\text{с}$ , а рассчитанный после повышения КПД –  $B_2 = 1,047 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Экономия топлива при повышении кпд, определяется по формуле (5.63),  $\text{м}^3/\text{с}$

$$\Delta B = \frac{G_c \cdot c_p (t_2 - t_1)}{Q_n^p} \cdot \left( \frac{1}{\eta_2} - \frac{1}{\eta_1} \right), \quad (5.63)$$

где  $G_c$  – расход воды через котел  $G_c = 102,8 \text{ кг/с}$ ,

$t_2$  – температура воды на выходе из котла  $t_2 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

$t_1$  – температура воды на входе в котел  $t_1 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

$c_p$  – теплоемкость воды,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

$Q_n^p$  – низшая рабочая теплота сгорания  $Q_n^p = 36674,47 \text{ кДж}/\text{м}^3$ .

$$\Delta B = \frac{102,8 \cdot 4,19 \cdot (150 - 70)}{36674} \cdot \left( \frac{1}{0,895} - \frac{1}{0,906} \right) = 0,0127 \text{ м}^3/\text{с}$$

В год экономия топлива составит  $400,507 \text{ тыс м}^3/\text{год}$ .

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

## 6 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

Атмосферный воздух является жизненно важным компонентом окружающей природной среды, представляющим собой естественную смесь газов атмосферы, находящуюся за пределами жилых, производственных и иных помещений [39]. Загрязнение окружающего воздуха негативно влияет на здоровье человека и на состояние природной среды.

Тепловые электростанции и теплоэлектроцентрали оказывают существенное влияние на состояние воздушного бассейна в районе их расположения. 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) и зола. Из них к числу токсичных относятся окислы серы  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$  и зола.

Природный газ является беззольным топливом. 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).

При неполном сгорании топлива в топках могут образовываться окись углерода  $\text{CO}$ , углеводороды  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$  и другие, а также канцерогенные вещества. Продукты неполного сгорания топлива являются вредными компонентами.

Исследование состава атмосферного воздуха в районах расположения крупных ТЭС показывает, что большой удельный вес в общем загрязнении воздуха приходится на долю окислов азота. Даже при минимальных дозах в воздухе окислы азота раздражают органы дыхания, разрушают оборудование и материалы, способствуют образованию смогов.

Образование окислов азота в топках происходит главным образом в результате окисления азота воздуха при высоких температурах, а также при разложении и окислении азотсодержащих соединений, входящих в состав топлива. В дымовых газах котлоагрегатов окислы азота обычно состоят на 95 – 99% из окиси азота  $\text{NO}$  и лишь на 1 – 5% из двуокиси азота  $\text{NO}_2$ .

Образование окислов азота в топках котлоагрегатов зависит от конструктивного оформления и расположения горелочных устройств, их мощности, тепловой нагрузки на ярус горелок, типа топлива, тепловой мощности топки, скорости охлаждения газов и других показателей [48].

Газообразное топливо представляет собой наиболее органическое топливо, так как при его полном сгорании из токсичных веществ образуются только оксиды азота. При неполном сгорании в выбросах присутствует оксид углерода.

### 6.1 Расчет дымовой трубы

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) и зола. Из них к числу токсичных относятся

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

окислы серы  $SO_2$  и  $SO_3$  и зола. При высоких температурах в ядре факела топков котлов большой мощности происходит частичное окисление азота, содержащегося в воздухе и топливе. Образуются окислы азота  $NO$  (окись азота) и  $NO_2$  (диоксид азота).

При неполном сгорании топлива в топках могут образовываться окись углерода  $CO$ , углеводороды  $CH_4$ ,  $C_2H_4$  и другие, а также канцерогенные вещества. Продукты неполного сгорания топлива являются вредными компонентами. Но при современной технике сжигания топлива образование этих компонентов можно исключить или свести к минимуму.

Газообразные выбросы образуют в атмосфере аэродисперсные системы. Мельчайшие частицы обладают очень маленькой скоростью падения и поэтому самоочищение атмосферы происходит очень медленно. В связи с этим к котельной предъявляются следующие требования:

1) Территория котельной размещается за границей застройки с подветренной стороны.

2) Установка дымовой трубы соответствующей высоты.

3) Все установленные котельные агрегаты оборудованы автоматическими регуляторами горения, позволяющими в процессе эксплуатации поддерживать такой режим горения топлива, при котором образуется наименьшее количество вредных веществ.

Котельная в качестве основного вида топлива потребляет природный газ. Из всех видов топлива это горючее наиболее благоприятно с экологической точки зрения, так как и у него имеется ряд преимуществ [18]:

1) Отсутствие твердых продуктов сгорания, таких как зола, шлак.

2) Полное исключение механического недожога топлива вследствие того, что в нём отсутствуют твердые частицы.

При расчете влияния токсичных компонентов на окружающую среду исходным показателем является выброс данного компонента в единицу времени.

### 6.1.1 Расчет выбросов окислов азота

В топочной камере образуется в основном окись азота  $NO$  (более 95%). Образование диоксида азота  $NO_2$  за счет окисления  $NO$  происходит при низких температурах и требует значительного времени. Выброс окислов азота, г/с, рассчитывается по  $NO_2$ .

В зимний период тепловая нагрузка, необходимая потребителю, состоит из отопления, вентиляции, горячего водоснабжения. Тогда как в летний период тепловая нагрузка состоит только из горячего водоснабжения. В связи с этим, в котельной в зимний период работают два котла ПТВМ-30ГМ, а в летний период – только один котел ПТВМ-30ГМ. На основании этого, необходимо выполнить расчет выбросов окислов азота для зимнего и летнего периода. При расчете влияния токсичных компонентов на окружающую среду исходным показателем является выброс данного компонента в единицу времени.

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

## Расчет выбросов окислов азота для зимнего периода

Выброс окислов азота находим по формуле (6.1), г/с

$$M_{NO_2} = 0,034 \cdot 10^{-3} \cdot \beta_1 \cdot k \cdot B \cdot Q_n^p \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot (1 - \beta_2 \cdot r) \cdot \beta_3, \quad (6.1)$$

где  $\beta_1 = 1$  – безразмерный поправочный коэффициент, учитывающий влияние на выход окислов азота качества сжигаемого топлива и способа шлакоудаления;  
 $\beta_2 = 0$  – коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих газов в зависимости от условий подачи их в топку;  
 $r = 0$  – степень рециркуляции инертных газов в процентах расхода дутьевого воздуха;

$\beta_3 = 1$  – коэффициент, учитывающий конструкцию горелок;

$B$  – расход топлива, м<sup>3</sup>/с, для первого котла ПТВМ-30  $B = 1,44$  м<sup>3</sup>/с [36, таблица 2.1], для второго котла ПТВМ-30  $B = 1,047$  м<sup>3</sup>/с (см. таблицу 6.6). Суммарный расход топлива для двух котлов  $B = 1,44 + 1,047 = 2,49$  м<sup>3</sup>/с.

$Q_n^p$  – низшая теплота сгорания топлива, МДж/м<sup>3</sup>,  $Q_n^p = 36,764$  МДж/м<sup>3</sup>

$k$  – коэффициент, характеризующий выход окислов азота находится по формуле (6.2), кг/м<sup>3</sup>

$$k = 2,5 \cdot \frac{Q_i}{84 + Q_i}, \quad (6.2)$$

где  $Q_n$  – номинальная тепловая производительность котла, ГДж/ч. Так как расчет производим для двух котлов, то  $Q_n = 60$  Гкал/ч, = 251,4 ГДж/ч.

$$k = \frac{2,5 \cdot 251,4}{84 + 251,4} = 1,87 \text{ кг/т}$$

$$M_{NO_2} = 0,034 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 1,87 \cdot 2,49 \cdot 36,764 \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0) \cdot 1 = 5,8 \text{ г/с}$$

## Расчет выбросов окислов азота для летнего периода

Так как в летний период работает только один котел ПТВМ-30, по формуле (6.2) найдем коэффициент  $k$ .

$$k = 2,5 \cdot \frac{125,7}{84 + 125,7} = 1,49 \text{ кг/м}^3$$

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50



Тогда по формуле (6.1) выброс окислов азота:

$$M_{NO_2} = 0,034 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 1,49 \cdot 1,049 \cdot 36,764 \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0) \cdot 1 = 1,95 \text{ г/с}$$

### 6.1.2 Поверочный расчет дымовой трубы

В основе важнейших отраслей топливной энергетики лежат высокотемпературные процессы, влекущие за собой значительное газовыделение, что приводит к необходимости в проектировании и производстве дымовых труб. Трубостроение представляет собой самостоятельную отрасль строительного производства, требующего обширных теоретических знаний и серьезного производственного опыта, так как каждая дымовая труба является сложным инженерным сооружением, связанным с потенциальной повышенной опасностью.

Основным методом снижения концентрации выбросов на уровне земли является рассеивание их через высокие дымовые трубы. Из дымовых труб поток газов выбрасывается в высокие слои атмосферы, перемешивается с воздухом, за счет чего концентрация вредных веществ на уровне дыхания снижается до нормативного значения.

Высота дымовой трубы котельной АО «Сигнал»  $H = 45$  м и диаметр  $D = 1$  м.

При расчете рассеивания выбросов максимальная концентрация вредного вещества в приземном слое  $C_m$  не должна превосходить максимально разовую ПДК этого вещества в атмосферном воздухе,  $C_m < \text{ПДК}$ .

ПДК<sub>мр</sub> – предельно допустимая максимальная разовая концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест. Эта концентрация при вдыхании в течение 20-30 мин не должна вызывать рефлекторных реакций в организме человека.

ПДК<sub>сс</sub> – предельно допустимая среднесуточная концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест. Эта концентрация не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия при неопределенно долгом вдыхании [34].

Расчет выбросов окислов азота производится по  $NO_2$ . Максимально-разовая предельно допустимая концентрация окислов азота в атмосферном воздухе ПДК<sub>мр</sub> = 0,085 мг/м<sup>3</sup>.

Выполним поверочный расчет установленной в котельной дымовой трубы для зимнего и летнего периода.

### Поверочный расчет дымовой трубы для зимнего периода

Максимальная приземная концентрация окислов азота содержащихся в дымовых газах определяется по формуле (6.3), мг/м<sup>3</sup>

$$C_m = \frac{A \cdot M_{NO_2} \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (6.3)$$

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

где  $\Delta T$  – разность температур выбрасываемых газов и атмосферного воздуха;  
 $T_{\partial}$  – температура дымовых газов,  $T_{\partial} = 160 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ,  
 $T_{\epsilon}$  – средняя температура воздуха самого холодного месяца,  $T_{\epsilon} = -15,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\Delta T = T_{\partial} - T_{\epsilon} = 160 - (-15,5) = 175,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ;  
 $H$  – высота дымовой трубы,  $H = 45 \text{ м}$  ;  
 $V_1$  – объем продуктов сгорания топлива,  $V_1 = 26,49 \text{ м}^3/\text{с}$  ;  
 $M_{NO_2}$  – суммарное количество окислов азота, выбрасываемых в атмосферу, в зимний период  $M_{NO_2} = 5,8 \text{ г/с}$  ;

$A$  – коэффициент, учитывающий рассеивающие свойства атмосферы при неблагоприятных метеорологических условиях, для европейской территории России и Урала севернее  $52^{\circ}$  с.ш.,  $A = 160$ , [30, табл. 3.2];

$F$  – коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе. Для газообразных примесей  $F = 1$  ;

$m$  и  $n$  – коэффициенты, учитывающие подъем факела над трубой.

Объемный расход продуктов сгорания топлива определяется по формуле (6.4),  $\text{м}^3/\text{с}$

$$V_1 = V_2 \cdot B, \quad (6.4)$$

где  $V_2$  – объем продуктов сгорания 2 котлов на  $1 \text{ м}^3$  топлива,  $V_2 = 12,65 \text{ м}^3/\text{м}^3$  ;

$B$  – суммарный расход топлива для 2 котлов,  $B = 1,047 + 1,44 = 2,49 \text{ м}^3/\text{с}$  .

$$V_1 = 12,65 \cdot 2,49 = 26,49 \text{ м}^3/\text{с}$$

Значения коэффициентов  $m$  и  $n$  определяются по вспомогательным величинам найденным по формулам (6.5) и (6.6)

$$f = \frac{10^3 \cdot w_0^2 \cdot D_0}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (6.5)$$

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}, \quad (6.6)$$

где  $D_0$  – диаметр устья источника выброса,  $D_0 = 1 \text{ м}$  ;

$w_0$  – средняя скорость выхода газозвушной смеси из устья источника выброса, рассчитывается по формуле (6.7),  $\text{м/с}$ .

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

$$w_o = \frac{4 \cdot V_1}{\pi \cdot D_o^2} \quad (6.7)$$

$$w_o = \frac{4 \cdot 26,49}{\pi \cdot 1^2} = 10,45 \text{ м/с}$$

$$f = \frac{10^3 \cdot 10,45^2 \cdot 1}{45^2 \cdot 175,5} = 0,307$$

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{26,49 \cdot 175,5}{45}} = 3,05$$

Коэффициент  $m$  рассчитывается по формуле (6.8)

$$\begin{aligned} \text{при } f < 100 \quad m &= \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} \\ \text{при } f > 100 \quad m &= 1,47/\sqrt[3]{f} \end{aligned} \quad (6.8)$$

Коэффициенты  $n$  рассчитываются по формуле (6.9)

$$\begin{aligned} \text{при } v_m \geq 2 \quad n &= 1 \\ \text{при } 0,5 < v_m < 2 \quad n &= 0,532 \cdot v_m^2 - 2,13 \cdot v_m + 3,13 \\ \text{при } v_m \leq 0,5 \quad n &= 4,4 \cdot v_m \end{aligned} \quad (6.9)$$

$$\text{при } f < 100 \quad m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{0,307} + 0,34\sqrt[3]{0,307}} = 0,95$$

$$\text{при } v_m \geq 2 \quad n = 1.$$

$$C_m = \frac{160 \cdot 5,8 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1}{45^2 \sqrt[3]{26,49 \cdot 175,5}} = 0,026 \text{ мг/м}^3$$

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

## Поверочный расчет дымовой трубы для летнего периода

В летний период работает котельный агрегат ПТВМ-30 с расходом топлива  $B = 1,047 \text{ м}^3/\text{с}$  (см. таблицу 5.6). При расчете максимальной предельной концентрации в условиях летнего периода принимаем среднюю температуру воздуха самого жаркого месяца в полдень  $T_g = 22,8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Тогда разность температур выбрасываемых газов и средней температуры воздуха по формуле (6.10) равна:

$$\Delta T = T_d - T_g = 160 - 22,8 = 137,2 \text{ }^\circ\text{C} \quad (6.10)$$

Объемный расход продуктов сгорания по формуле (6.4) равен:

$$V_1 = 12,65 \cdot 1,047 = 13,24 \text{ м}^3/\text{с}$$

По формуле (6.7) определяем скорость газовой смеси:

$$w_o = \frac{4 \cdot 13,24}{\pi \cdot 1^2} = 5,21 \text{ м/с}$$

По формуле (6.5) определяем коэффициент  $f$ :

$$f = \frac{10^3 \cdot 5,21^2 \cdot 1}{45^2 \cdot 137,2} = 0,097$$

По формуле (6.6) определяем коэффициент  $v_m$ :

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{13,24 \cdot 137,2}{45}} = 2,23$$

Определяем значения коэффициентов  $m$  и  $n$  по формулам (6.8), (6.9):

$$\text{при } f < 100 \quad m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{0,097} + 0,34\sqrt[3]{0,097}} = 1,17$$

$$\text{при } v_m \geq 2 \quad n = 1.$$

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Максимальная концентрация окислов азота для летнего периода равна по формуле (6.3):

$$C_m = \frac{160 \cdot 1,95 \cdot 1 \cdot 1,17 \cdot 1}{45^2 \sqrt[3]{13,24 \cdot 137,2}} = 0,0147 \text{ мг/м}^3$$

При существующей высоте дымовой трубы содержание окислов азота в дымовых газах не превышает ПДК, при условии, что расчеты были произведены без учета фоновой концентрации  $C_\phi$ . Под фоновой концентрацией для отдельного источника загрязнения атмосферы понимается загрязнение атмосферы в городе или другом населенном пункте, созданное другими источниками, исключая данный.

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

## 7 КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И АВТОМАТИКА

В котельной должна предусматриваться защита оборудования, сигнализация, автоматическое регулирование, контроль, входящие в автоматизированную систему управления технологическими процессами котельной в объёме требований [13].

В соответствии с [13] для водогрейных котлов при сжигании газообразного топлива следует предусматривать устройства, автоматически прекращающие подачу топлива к горелкам при:

- повышении или понижении давления газообразного топлива перед горелками;
- понижении давления жидкого топлива перед горелками за регулирующей арматурой;
- понижении давления воздуха перед горелками с принудительной подачей воздуха;
- уменьшении разрежения и/или повышении давления в топке;
- погасании факелов горелок, отключение которых при работе котла не допускается;
- повышении температуры воды на выходе из котла;
- уменьшении расхода воды через котел;
- неисправности цепей защиты.

В котельной следует предусматривать светозвуковую сигнализацию:

- срабатывания защиты;
- повышения и понижения давления газообразного топлива в общем газопроводе к котлам;
- понижения давления воды в каждой питательной магистрали;
- понижения и повышения давления воды в обратном трубопроводе тепловой сети
- отсутствия напряжения на рабочем и резервном вводах питания

Необходимо устанавливать приборы контроля содержания оксида углерода в помещении.

Для устанавливаемых котлов следует предусмотреть регулирование температуры воды на входе в котел.

Следует предусматривать визуальное отображение параметров на мониторе:

- температуры воды в общем трубопроводе перед водогрейными котлами и на выходе из каждого котла (до запорной арматуры);
- давления воды на выходе из водогрейного котла;
- температуры дымовых газов за котлом;
- давления газообразного топлива перед горелками, после последнего (по ходу газа) отключающего устройства;
- давления воды в питательных магистралях;
- давления газообразного топлива в магистралях перед котлами;
- давления воды в системах теплоснабжения.

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Встроенная система управления горелкой, с помощью специальным образом запрограммированных электронных блоков, позволяют контролировать разные элементы, которые влияют на правильное смешивание топлива с воздухом горения. Так же, эта система, позволяет отрегулировать процесс горения с максимальной точностью. Кроме того, можно расширить возможности системы, подсоединив ее через интерфейс к датчику контроля кислорода и/или к инвертеру для контроля скорости вентилятора, с целью улучшения работы, при этом достигая максимальную экономию энергии, как в виде топлива, так и в виде используемой электрической энергии.

Контроллер горелки получает в реальном времени информацию с датчиков, обрабатывает ее и по сигналу от общего контроллера регулирует подачи воздуха и газа. Эта система обладает следующими возможностями:

- встроенный электронный блок контроля пламени;
- интегрированный в систему контроль герметичности газовых клапанов;
- использование датчиков пламени различных типов с целью эксплуатации системы "менеджер горения - горелка" в самых разных приложениях;
- ввод в действие на регулируемой скорости частотного преобразователя (опция только для некоторых вариантов исполнения горелок)
- визуализация кодов ошибок в случае неправильной работы или блокировки горелки; - возможность ввода или исключения в программу работы горелки пост - продувки;
- визуализация часов работы горелки.

Розжиг котла происходит в следующем порядке:

1. Проветривание топки котла при включенном дымососе и воздухоподогревателе, чтобы не произошло взрыва газозооной смеси;
2. При закрытых клапане безопасности и клапане-отсекателе проводится контроль отсутствия давления газа (датчик давления разомкнут) в течение 5 мин;
3. Открывается клапан-отсекатель на время 2с;
4. При закрытых клапане-безопасности и клапане-отсекателе проводится контроль наличия давления газа (датчик давления замкнут) в течение 5 мин;
5. Открывается клапан безопасности на 5с;
6. Проводится контроль отсутствия давления газа (датчик давления разомкнут);
7. После проверки герметичности газопровода подается сигнал на открытие клапана запальной горелки и подаются импульсы на катушку зажигания.

При розжиге факела запальной горелки подается устойчивый сигнал с электрода контроля пламени запальника, вследствие чего открывается клапан основной горелки и котел выводится в рабочий режим.

## 8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В котельной установлено 2 водогрейных котла ПТВМ-30ГМ теплопроизводительностью 60 Гкал/ч. В котельной также установлены: насосное оборудование, подогреватели сетевые, газораспределительная установка, силовые трансформаторы.

Реконструкция котла ПТВМ-30ГМ подразумевает замену существующих горелочных устройств на модернизированные горелки МГМГ-6.

Возможными причинами травмирования работника могут быть [16]:

1. Подвижные части производственного оборудования (насосов, вентиляторов, турбин);
2. Повышенная температура поверхностей оборудования (обечайки котлов, корпуса теплообменников);
3. Повышенный уровень шума на рабочем месте (вентиляторы, горелки, насосное оборудование);
4. Электрический ток (силовые трансформаторы, кабели питающих и распределительных сетей, электродвигатели насосного оборудования и вентиляторов горелок);
5. Химические вещества (природный газ);
6. Повреждения, полученные при падениях. Падения подразделяются на два вида: падения на человека различных предметов и падения человека в результате подскользывания, запинания, падения с высоты или внезапного ухудшения здоровья.

Возможными аварийными ситуациями могут стать:

1. Утечка топлива;
2. Взрыв котла;
3. Поступление угарного газа в котельную;
4. Пожар.

### 8.1 Характеристика рабочего места

Обслуживание котельного оборудования осуществляется: оператором котельной установки, мастером, лаборантом ХВО, слесарем КИПиА.

Основным оборудованием, с которым имеет дело, оператор котельной – щит, пульт управления, котлы, насосы, теплообменное оборудование, водоподготовительное оборудование. На щите и пульте монтируют большинство аппаратуры контроля, автоматического регулирования безопасности, управления и сигнализации. Смена оператора имеет 12 часов в день и через сутки 12 часов в ночь, а 5 часов используют для осмотра оборудования котельной [25].

Котлы и вспомогательное оборудование оснащены необходимыми средствами защиты, отключающими котел при возникновении аварийных режимов работы и осуществляющими звуковую и световую сигнализацию при отклонении от заданных параметров: давления сетевой воды выше 0,6 МПа, температуры

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58



сетевой воды выше 115°C, в случае повышения давления в газопроводе выше 0,3 МПа.

Все технологическое оборудование имеют технические паспорта и сертифицированы в соответствии с требованиями промышленной безопасности в установленном Законодательном порядке. Все химические вещества, используемые в системе водоподготовки, имеют санитарно-гигиенические сертификаты.

## 8.2 Требования безопасности производственного оборудования

Основные требования безопасной эксплуатации паровых котлов [13]:

1. Нижний допустимый уровень воды в газотрубных (жаротрубных) котлах должен быть не менее чем на 100 мм выше верхней точки поверхности нагрева котла.

2. В барабанах лазы должны быть круглой, эллиптической или овальной формы: диаметр круглого лаза должен быть не менее 400 мм, а размер осей эллиптического или овального лаза - не менее 300 x 400 мм.

3. В стенках топки и газоходов должны быть предусмотрены лазы и гляделки, обеспечивающие возможность контроля за горением и состоянием поверхностей нагрева, обмуровки, а также за изоляцией обогреваемых частей барабанов и коллекторов.

4. Дверцы и крышки лазов, лючков и гляделок должны быть прочными, плотными и должны исключать возможность самопроизвольного открывания.

На котлах с избыточным давлением газов в топке, в газоходах лючки должны быть оснащены устройствами, исключающими выбивание газов наружу при их открывании.

5. Котлы с камерным сжиганием топлива (пылевидного, газообразного, жидкого) или с шахтной топкой для сжигания торфа, опилок, стружек или других мелких производственных отходов паропроизводительностью до 60 т/ч включительно должны быть снабжены взрывными предохранительными устройствами. Взрывные предохранительные устройства должны быть размещены и устроены так, чтобы было исключено травмирование людей.

6. Днища следует применять выпуклые полушаровые или эллиптические.

7. Днища, как правило, следует изготавливать из одного листа.

8. Каждый котел должен иметь трубопроводы:

а) подвода питательной или сетевой воды;

б) продувки котла и спуска воды при остановке котла;

в) удаления воздуха из котла при заполнении его водой и растопке;

г) продувки пароперегревателя и паропровода;

д) отбора проб воды;

е) ввода в котловую воду корректирующих реагентов в период эксплуатации и моющих реагентов при химической очистке котла;

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

ж) отвода воды или пара при растопке и остановке. В соответствии с ГОСТ 14202-69 «Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки» окраска трубопроводов должна быть произведена в следующие цвета: трубопроводы воды – зеленый, газопровод – желтый, трубопроводы фосфатов – фиолетовый [17].

9. Продувочный трубопровод должен отводить воду в емкость, работающую без давления. Допускается применение емкости, работающей под давлением, при условии подтверждения надежности и эффективности продувки соответствующими расчетами.

10. Конструктивные и компоновочные решения систем продувок, опорожнения, дренажа, ввода реагента и т.п., принимаемые конструкторской и проектной организациями по конкретному оборудованию, должны обеспечить надежность эксплуатации котла на всех режимах, включая аварийные, а также надежную его консервацию при простоях.

### **8.3 Требования безопасности, предъявляемые к горелочным устройствам**

К горелочным устройствам предъявляют следующие требования:

1. Горелочные устройства должны обеспечивать безопасную и экономичную эксплуатацию котлов.

2. Горелочные устройства должны изготавливаться организациями в соответствии с нормативной документацией, согласованной с Госгортехнадзором России. В нормативной документации должны быть установлены требования безопасности, указания по эксплуатации и ремонту.

3. Горелочные устройства должны иметь паспорт организации-изготовителя.

4. Котел должен быть снабжен:

а) комплектом основных и резервных форсунок;

б) запально-защитными устройствами (ЗЗУ) с контролем растопочного и основного факела. Места установки ЗЗУ и средств контроля факела определяются проектом;

в) комплектом арматуры, обеспечивающим автоматическое, дистанционное или ручное управление горелками;

5. Горелочные устройства, разработанные и поставляемые совместно с котлом одним заводом-изготовителем, проходят приемочные испытания в составе этого котла.

6. Горелочные устройства должны обеспечивать надежное воспламенение и устойчивое горение топлива без отрыва и проскока пламени в заданном диапазоне режимов работы, не допускать выпадения капель жидкости топлива на пол и стенки топки, а также сепарации угольной пыли (если не приняты специальные меры по ее дожиганию в объеме топки).

7. Аэродинамические характеристики горелок и размещение их на стенах топки должны обеспечивать равномерное заполнение топки факелом без наброса

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

его на стены и исключать образование застойных и плохо вентилируемых зон в объеме топки.

8. Подвод топлива к горелкам, требования к запорной регулирующей и отсечной (предохранительной) арматуре, перечень необходимых защит и блокировок, а также требования к приготовлению и подаче топлива регламентируются для каждого вида топлива по НД, согласованной с Госгортехнадзором России.

9. Подвески котлов являются основными несущими элементами, воспринимающими нагрузку от массы поверхностей нагрева котла. В процессе эксплуатации необходимо следить за равномерностью распределения нагрузки и контролировать состояние элементов подвесной системы. Натяжение подвесок после монтажа и в процессе эксплуатации должно регулироваться в соответствии с инструкцией организации - изготовителя котла.

#### **8.4 Обеспечение безопасных условий эксплуатации котлов**

Для управления работой, обеспечения безопасных условий и расчетных режимов эксплуатации котлы должны быть оснащены:

- а) устройствами, предохраняющими от повышения давления (предохранительными устройствами);
- б) указателями уровня воды;
- в) манометрами;
- г) приборами для измерения температуры среды;
- д) запорной и регулирующей арматурой;
- е) приборами безопасности;
- ж) питательными устройствами.

#### **8.5 Требования к размещению котлов и вспомогательного оборудования**

К размещению котлов и вспомогательного оборудования предъявляют следующие требования:

1. Расстояние от фронта котлов или выступающих частей топок до противоположной стены котельной должно составлять не менее 3 м, при этом для котлов, работающих на газообразном или жидком топливе, расстояние от выступающих частей горелочных устройств до стены котельного помещения должно быть не менее 1 м.

2. Перед фронтом котлов допускается установка котельного вспомогательного оборудования и щитов управления, при этом ширина свободных проходов вдоль фронта должна быть не менее 1,5 м и установленное оборудование не должно мешать обслуживанию котлов.

3. При установке котлов, для которых требуется боковое обслуживание топки или котла (шуровка, обдувка, очистка газоходов, барабанов и коллекторов, выемка пакетов экономайзера и пароперегревателя, выемка труб, обслуживание

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

горелочных устройств, реперов, элементов топки, обслуживание периодической продувки) ширина бокового прохода должна быть достаточной для обслуживания и ремонта, но не менее 2 м для котлов паропроизводительностью 4 т/ч и более.

4. В тех случаях, когда не требуется бокового обслуживания топок и котлов, обязательно устройство проходов между крайними котлами и стенами котельной. Ширина этих проходов, а также ширина прохода между котлами и задней стеной котельного помещения должна составлять не менее 1 м.

5. Проходы в котельной должны иметь свободную высоту не менее 2 м.

6. Запрещается установка в одном помещении с котлами и экономайзерами оборудования, не имеющего прямого отношения к обслуживанию и ремонту котлов или к технологии получения пара и (или) горячей воды.

7. Для удобного и безопасного обслуживания котлов, пароперегревателей и экономайзеров должны быть установлены постоянные площадки и лестницы с перилами высотой не менее 0,9 м со сплошной обшивкой по низу не менее 100 мм.

8. Ширина свободного прохода площадок должна быть не менее 600 мм, а для обслуживания арматуры, контрольно-измерительных приборов и другого оборудования не менее 800 мм.

9. Расстояние по вертикали от площадки для обслуживания водоуказательных приборов до середины водоуказательного стекла должно быть не менее 1 и не более 1,5 м [13].

## **8.6 Требования охраны труда при монтаже и демонтаже тепловых энергоустановок**

1. При монтаже тепловых энергоустановок должны выполняться требования охраны труда, содержащиеся в плане производства монтажных работ, технических условиях или в технологической карте, а также в технической документации организации-изготовителя.

2. Перед началом монтажных работ на монтажной площадке должны устанавливаться места проезда и прохода, а также определяться границы опасных зон с обозначением их защитными ограждениями, предупредительными знаками и надписями.

3. Выполнение монтажных работ в действующих производственных помещениях с повышенной взрывоопасностью и газоопасностью допускается только при наличии наряда-допуска. Ремонт, монтаж или демонтаж тепловых энергоустановок в таких производственных помещениях должны производиться с использованием инструмента из цветных металлов. При этом запрещается: применять источники открытого огня, бросать металлические предметы и материалы, способные вызвать искру при падении, использовать обувь с металлическими подковками и гвоздями, оставлять на рабочем месте

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

промасленную ветошь (все обтирочные материалы складываются в железный ящик и удаляются из помещения по окончании работ).

4. Освобождение монтируемых тепловых энергоустановок и трубопроводов от стропов при применении грузоподъемных машин и механизмов должно производиться после надежного их закрепления или установки в устойчивое положение.

Демонтаж должен осуществляться после полного обесточивания тепловых энергоустановок и надежного отключения их топливоснабжения [3].

## **8.7 Нормирование факторов рабочей среды и трудового процесса. Организация мероприятий защиты**

Рабочее место оператора котельной находится в производственном помещении с выделением тепла, вследствие чего в помещении повышенная температура, пониженная влажность, повышенная скорость воздуха.

### **8.7.1 Воздух рабочей зоны**

Повышение температуры воздуха затрудняет функционирование сердечно-  
Рабочая зона – это пространство высотой до 2 м над площадкой постоянного или временного пребывания работающих. Место пребывания считается постоянным, если работник находится на нем более 50% суммарно или 2 ч непрерывно своего рабочего времени.

Показателями микроклимата производственных помещений являются температура, скорость движения воздуха и его относительная влажность (отношение в % абсолютной фактической влажности воздуха к максимально возможной при той же температуре), атмосферное давление, тепловое, т. е. инфракрасное излучение и температура наружных поверхностей.

Санитарными нормами с учетом тяжести работы и периода года устанавливаются оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата. Периоды года: холодный, когда среднесуточная температура наружного воздуха  $+10^{\circ}\text{C}$  и ниже; теплый – температура выше  $+10^{\circ}\text{C}$ . Оптимальные условия – это такие, при длительном воздействии которых сохраняется нормальное тепловое состояние человека без напряжения его механизма терморегуляции.

Допустимые условия могут вызвать быстро нормализующиеся изменения теплового состояния организма и напряжение механизма терморегуляции в пределах физиологических приспособительных возможностей человека; устанавливаются, если технически и экономически нерационально обеспечивать оптимальные. Категории работ по физической тяжести:

1. Легкие работы категории Ia – это работы сидя, без систематического физического напряжения, с энергозатратами до 138 Дж/с (120 ккал/ч);

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

2. Легкие работы категории Iб – это работы сидя, стоя или с ходьбой, с физическим напряжением, с расходом энергии 138 – 172 Дж/с (120 – 150 ккал/ч);

3. Работы средней тяжести категории IIа – это работы стоя или с ходьбой и перемещением мелких (до 1 кг) предметов, с энергозатратами 172 – 232 Дж/с (150 – 200 ккал/ч);

4. Работы средней тяжести категории IIб – это работы стоя или с ходьбой и переноской тяжестей до 10 кг с энергозатратами 232 – 293 Дж/с (200 – 250 ккал/ч);

5. Тяжелые работы категории III – это работы с систематическим физическим напряжением, переноской тяжестей более 10 кг, с энергозатратами более 293 Дж/с (250 ккал/ч).

Оптимальная относительная влажность воздуха для работ всех категорий по физической тяжести 40 – 60%.

Невидимое инфракрасное, т. е. тепловое излучение исходит от печей, котлов и других источников, имеющих температуру до 500<sup>0</sup>С; при более высокой температуре добавляются видимые лучи. Лучистое тепло может вызвать функциональные расстройства организма: изменение состава крови, понижение ее давления, потерю влаги, а при продолжительном воздействии – потерю остроты зрения, катаракту (помутнение хрусталика глаза), а иногда и полную слепоту. Температура излучающих поверхностей на рабочих местах не должна превышать 45<sup>0</sup>С или защищаются экранами. При лучистом тепле в 348 Дж/(м<sup>2</sup>·с) и более применяют воздушное душирование (приточную вентиляцию на рабочие места).

В зависимости от опасности устанавливается ПДК вредных веществ в воздухе. Их классы опасности: 1-й – чрезвычайно опасные; ПДК < 0,1 мг/м<sup>3</sup>; 2-й – высокоопасные; ПДК = 0,1 – 1,0 мг/м<sup>3</sup>; 3-й – умеренно опасные; ПДК = 1,0 – 10,0 мг/м<sup>3</sup>; 4-й – малоопасные; ПДК > 10,0 мг/м<sup>3</sup>. Длительное воздействие вредных веществ может привести к кожным и аллергическим заболеваниям, хроническим отравлениям организма. При содержании нескольких веществ однонаправленного действия сумма их относительных концентраций не должна быть больше 1;

Температуру определяют ртутными, спиртовыми и парными термометрами (колбочка одного черная и поглощает тепловые лучи; другого – серебристая и отражает их; истинная температура – средняя); для непрерывной регистрации температуры пользуются самопишущими приборами или термографами. Влажность измеряют психрометрами: стационарным (психрометром Августа) и аспирационным (психрометром Ассмана), а также гигрометрами и гигрографами; стационарный психрометр состоит из двух термометров; шарик одного открытый, сухой, другого – обернут тканью и увлажняется; аспирационный психрометр, кроме того, имеет вентилятор, протягивающий воздух по трубкам около шариков со скоростью 2 м/с; гигрометры бывают конденсационные, электролитические, весовые и др. Скорость движения воздуха измеряют крыльчатым (0,3 – 0,5 м/с) и чашечным (1 – 20 м/с) анемометрами. Лучистую тепловую энергию измеряют

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

термоэлектрическим актинометром, основанным на различии поглощающей способности черных и белых полосок алюминиевой пластинки; возникает термоток, зависящий от интенсивности потока инфракрасных лучей.

Содержание вредных веществ в воздухе периодически определяют приборами: фотоколориметрами (сравнение цвета раствора с эталоном); спектрофотометрами (измерение излучательной, поглощательной и отражательной способности веществ); хроматографами (различие скоростей движения компонентов смеси в газе или жидкости вдоль сорбента); для экспресс-анализа используется универсальный газоанализатор, основанный на изменении цвета и длины окраски реагента в стеклянной трубочке продуваемым воздухом. Запыленность воздуха оценивается его фильтрованием и взвешиванием фильтров, а также с помощью электронных, радиоизотопных, фотоэлектрических и других приборов. Определяют также дисперсный, минералогический и химический составы пыли с целью получения полной ее гигиенической характеристики. Параметры воздуха замеряют на высоте 1,3 – 1,5 м от пола; если температура и влажность на опорной поверхности и в верхней зоне помещения заметно отличаются, то измеряют на высоте 0,2 – 0,3 м.

### 8.7.2 Освещение рабочей зоны

Недостаточное естественное освещение вызывает нарушение зрения, быструю утомляемость, головные боли.

Для создания наилучших условий работы зрения человека в процессе труда освещение должно обеспечивать [27]:

- освещенность на рабочих местах в соответствии с характером зрительной работы;
- достаточно равномерное распределение яркости рабочей поверхности;
- отсутствие резких теней, блескости.

В котельной предусмотрено совмещенное рабочее освещение, а также искусственное дежурное и аварийное освещение.

Основным документом по световой среде является СНиП 23-05-95\* «Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования».

Величины освещенности, равномерность и требования к качеству для дежурного освещения не нормируются [27].

Аварийное освещение следует предусматривать в случаях если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов может вызвать:

- взрыв, пожар, отравление людей;
- длительное нарушение технологического процесса.

Аварийное освещение должно создавать на рабочих поверхностях в производственных помещениях и на территориях предприятий, требующих обслуживания при отключении рабочего освещения, наименьшую освещенность в

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

размере 5 % освещенности, нормируемой для рабочего освещения от общего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк для территорий предприятий.

В помещении котельной предусмотрено естественное освещение, а в вечернее и ночное время – искусственное. Искусственное освещение осуществляется комбинацией общего освещения котельной с местным освещением рабочих мест. В качестве источников света применяются люминесцентные лампы и лампы накаливания. Для обеспечения требуемого направления светового потока электрические лампы заключены в арматуру, которая обеспечивает защиту глаз от слепящего действия и предохраняет лампы от загрязнения. Для освещения применяются светильники напряжением 220 В и мощностью 40-1000 Вт.

Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ:

- Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения.

- Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Следует ограничивать отраженную блескость на рабочих поверхностях (экран, стол, клавиатура и др.) за счет правильного выбора типов светильников и расположения рабочих мест по отношению к источникам естественного и искусственного освещения, при этом яркость бликов на экране ПЭВМ не должна превышать 40 кд/м<sup>2</sup> и яркость потолка не должна превышать 200 кд/м<sup>2</sup>.

Дежурное освещение предусмотрено возле оборудования котельной, в местах установки приборов, в помещении операторской.

В случае аварийной ситуации предусмотрено аварийное освещение, которое составляет 10% рабочего освещения. Аварийное освещение обеспечивает работу на пультах управления, а также осмотр фронтальной части котла, проход по обслуживающим площадкам. Для осмотра оборудования у оператора предусмотрены аккумуляторные светильники и переносные электрические фонари. Переносные ручные электрические светильники питаются от сети напряжением 12 В [27].

## 8.8 Электробезопасность

Проходя через тело человека, электроток производит термическое, электролитическое, механическое и биологическое действие. Термическое действие тока проявляется ожогами отдельных участков тела. Электролитическое действие тока выражается в разложении жидкостей организма на ионы. Механическое действие тока приводит к разрыву тканей. Биологическое действие тока проявляется судорожным сокращением мышц, нарушением внутренних биологических процессов.

Характеристика воздействия тока на человека зависит от силы и рода тока. Для переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220 в и пути тока – «рука –

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66



нога» сила тока 0,6...1,5 мА является ощутимой, появляется легкое дрожание пальцев. При силе тока 2,0...2,5 мА возникают болевые ощущения, а при 5,0...7,0 мА – судороги в руках; 20,0...25,0 мА – неотпускающий ток, человек не может самостоятельно оторвать руки от электродов, а при 50,0...80,0 мА – паралич дыхания; 90,0...100,0 мА – наступает фибрилляция сердца при действии тока в течении 2...3 с и паралич дыхания [23].

Требования безопасности к электрическому изделию и его частям:

1. В конструкции электротехнических изделий должны быть предусмотрены средства шумо- и виброзащиты, обеспечивающие уровни шума и вибрации на рабочих местах в соответствии с утвержденными санитарными нормами.

2. Изделия, которые создают электромагнитные поля, должны иметь защитные элементы (экраны, поглотители и т.п.) для ограничения воздействия этих полей в рабочей зоне до допустимых уровней.

3. Электрическая схема изделия должна исключать возможность его самопроизвольного включения и отключения

4. Расположение и соединение частей изделия должны быть выполнены с учетом удобства и безопасности наблюдения за изделием при выполнении сборочных работ, проведении осмотра, испытаний и обслуживания.

5. При необходимости изделия должны быть оборудованы сигнализацией, надписями и табличками.

6. Изделия и их составные части массой более 20 кг или имеющие большие габаритные размеры должны иметь устройства для подъема, опускания и удержания на весу при монтажных и такелажных работах.

7. Изоляция частей изделия, доступных для прикосновения, должна обеспечивать защиту человека от поражения электрическим током.

8. Болт (винт, шпилька) для присоединения заземляющего проводника должен быть выполнен из металла, стойкого в отношении коррозии, или покрыт металлом, предохраняющим его от коррозии, и контактная часть не должна иметь поверхностной окраски.

9. Элементами для заземления должны быть оборудованы следующие металлические нетоковедущие части изделий, подлежащих заземлению: оболочки, корпуса, шкафы; каркасы, рамы, обоймы, стойки, шасси, основания, панели, плиты и другие части изделий, которые могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции.

10. Заземление частей изделий, установленных на движущихся частях, должно выполняться гибкими проводниками или скользящими контактами [19].

## 8.9 Пожаробезопасность

Основными источниками пожара в котельной ТЭЦ могут быть:

1. Утечка топлива разгерметизации газопроводов;

2. Короткое замыкание электропроводки;

3. Нарушение правил по розжигу газа могут привести к взрыву в топке котла;

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

4. Неправильная подача воздуха и газа на горелку может привести к отрыву огня от горелки;

Классификация зданий и помещений по взрывопожарной и пожарной опасности применяется для установления требований пожарной безопасности, направленных на предотвращение возможности возникновения пожара и обеспечение противопожарной защиты людей и имущества в случае возникновения пожара.

В котельной природный газ сжигается в качестве топлива, в связи с этим категория помещения по взрывопожароопасности – Г [10].

Классификация пожаров производится в зависимости от вида горящего вещества и материалов. В котельной ими является природный газ и оборудование под напряжением. Соответственно, устанавливаются классы пожара «С» и «Е»[4].

Мероприятия по предотвращению пожаров в производственных помещениях:

1. Предотвращение пожара должно достигаться предотвращением образования горючей среды и (или) предотвращением образования в горючей среде (или внесения в нее) источников зажигания.

2. Предотвращение образования горючей среды должно обеспечиваться одним из следующих способов или их комбинаций:

а) максимально возможным применением негорючих и трудногорючих веществ и материалов;

б) максимально возможным по условиям технологии и строительства ограничением массы и (или) объема горючих веществ, материалов и наиболее безопасным способом их размещения;

в) изоляцией горючей среды (применением изолированных отсеков, камер, кабин и т.п.);

г) поддержанием безопасной концентрации среды в соответствии с нормами и правилами и другими нормативно-техническими, нормативными документами и правилами безопасности;

д) поддержанием температуры и давления среды, при которых распространение пламени исключается;

е) максимальной механизацией и автоматизацией технологических процессов, связанных с обращением горючих веществ;

ж) установкой пожароопасного оборудования по возможности в изолированных помещениях или на открытых площадках;

з) применением устройств защиты производственного оборудования с горючими веществами от повреждений и аварий, установкой отключающих, отсекающих и других устройств.

3. Предотвращение образования в горючей среде источников зажигания должно достигаться применением одного из следующих способов или их комбинацией:

а) применением машин, механизмов, оборудования, устройств, при эксплуатации которых не образуются источники зажигания;

б) применением в конструкции быстродействующих средств защитного от-

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

ключения возможных источников зажигания;

в) применением технологического процесса и оборудования, удовлетворяющих требованиям электростатической искробезопасности;

г) устройством молниезащиты зданий, сооружений и оборудования;

д) поддержанием температуры нагрева поверхности машин, механизмов, оборудования, устройств, веществ и материалов, которые могут войти в контакт с горючей средой, ниже предельно допустимой, составляющей 80% наименьшей температуры самовоспламенения горючего;

е) исключением возможности появления искрового разряда в горючей среде с энергией, равной и выше минимальной энергии зажигания;

ж) применением неискрящего инструмента при работе с легковоспламеняющимися жидкостями и горючими газами;

з) ликвидацией условий для теплового, химического и (или) микробиологического самовозгорания обращающихся веществ, материалов, изделий и конструкций.

Мероприятия по предупреждению пожаров включают в себя:

1. Пожарная профилактика, направленная на установление строгого соблюдения работниками требований правил, норм и инструкций по технике безопасности.

2. Автоматические аварийные системы, обеспечивающие включение аварийной сигнализации, отключение электропитания на котельной.

3. Установка газоанализаторов постоянного действия;

4. Оборудование газопровода электромагнитным запорным клапаном, срабатывающим при отключении электроснабжения, превышения норм загазованности помещения по метану и углекислому газу;

5. Запрет на курение в помещении котельной;

6. У входа в котельную вывешиваются знаки безопасности, предупреждающие о наличии вредных веществ и об опасности пожара или взрыва [18].

## 8.10 Средства пожаротушения

Необходимые средства пожаротушения, которыми должно быть обеспечено предприятие:

1. Противопожарное водоснабжение;

2. Первичные средства пожаротушения и противопожарный инвентарь;

3. Установки автоматического и полуавтоматического пожаротушения (спринклерные и дренчерные установки);

Требования, предъявляемые к автоматическим установкам пожаротушения:

1. Автоматические установки пожаротушения следует проектировать с учетом общероссийских, региональных и ведомственных нормативных документов, действующих в этой области, а также строительных особенностей защищаемых зданий, помещений и сооружений, возможности и условий применения огнетушащих веществ исходя из характера технологического процесса.

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

2. Автоматические установки (за исключением автономных) должны выполнять одновременно и функцию пожарной сигнализации.

3. Установки автоматического водяного и пенного пожаротушения должны выполнять функцию тушения или локализации пожара. Установки автоматического пожаротушения бывают спринклерные и дренчерные.

4. Спринклерные установки водяного и пенного пожаротушения в зависимости от температуры воздуха в помещениях следует проектировать водозаполненными или воздушными.

5. Спринклерные установки следует проектировать для помещений высотой не более 20 м.

6. Время с момента срабатывания спринклерного оросителя, установленного на воздушном трубопроводе, до начала подачи воды из него не должно превышать 180 с.

В отличие от спринклеров, которые вскрываются под действием — определенной расчетной температуры только над очагом пожара, дренчерные установки группового действия при автоматическом включении орошают площадь помещения всеми головками одновременно независимо от размеров очага загорания.

7. Автоматическое включение дренчерных установок следует осуществлять по сигналам от одного из видов технических средств или по совокупности сигналов этих технических средств:

- пожарных извещателей установок пожарной сигнализации;
- побудительных систем;
- спринклерной АУП;
- датчиков технологического оборудования

Первичные средства пожаротушения и противопожарный инвентарь:

1. Пенные огнетушители ОП-5 и ОХП-10 предназначены для тушения начинающихся очагов загорания при воспламенении всех горючих твердых и жидких веществ;

2. Жидкостные огнетушители (ОЖ-5, ОЖ-10) являются разновидностью пенных огнетушителей и применяются для тушения небольших очагов загорания плохо смачиваемых материалов (хлопка, ваты и т.п.).

3. Углекислотные огнетушители переносные (ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8) и перевозные (ОУ-25, ОУ-80 и ОУ-400) применяются для небольших очагов загораний, а также пожаров в электроустановках, находящихся под напряжением не свыше 380 В.

4. Сухой песок, кошма или войлочное полотно, багор, лом, лопаты.

Первичные средства пожаротушения следует размещать на пожарных щитах [11].

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

## 9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Эффективное использование энергетических ресурсов, выявление рациональных направлений развития и эксплуатации энергетического хозяйства является важной задачей для экономики промышленного предприятия. Важную роль в обеспечении эффективного развития предприятия играет принятие экономически обоснованных решений по реализации инвестиционных проектов [26]. Энергосбережение и ресурсосбережение является одной из важнейших задач при развитии любого производства, в связи с этим необходимо модернизировать производственное оборудование, для снижения потребления энергии и ресурсов.

Котельная АО «Сигнал» снабжает тепловой и электрической энергией АО «Сигнал» и поселок Сигнал в г. Челябинске. Реконструкция водогрейного котла ПТВМ-30ГМ подразумевает замену горелочных устройств.

Модернизированные газовые горелки МГМГ требуют меньший расход топлива на горелку и меньший коэффициент избытка воздуха, в связи с этим уменьшаются потери тепла с уходящими газами, повышается коэффициент полезного действия котла, в результате чего получаем экономию текущих затрат.

### 9.1 Смета капитальных затрат

Капитальные затраты включают в себя затраты на разработку проекта модернизации, строительство зданий котельной, стоимость оборудования, затраты на его монтаж.

Стоимость оборудования определяется по прейскуранту завода-изготовителя в ценах мая 2017 года, стоимость транспортировки оборудования вычислена согласно [58]. Смета капитальных затрат на модернизацию котельной представлена в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Смета капитальных затрат на реконструкцию котла ПТВМ-30ГМ путем замены горелочных устройств

Наименование затрат	Цена, тыс. руб	Кол-во, шт.	Сумма, тыс. руб
1	2	3	4
Проектные работы	185,0	1	185,0
Демонтажные работы	18,1	6	108,6
Монтажные работы	20,0	6	120,0

Продолжение таблицы 9.1

1	2	3	4
Пуско-наладочные работы	17,0	1	17,0
Оборудование			
Газовые горелки МГМГ-6 [58]	50,6	6	303,6
Другое (дополнительные материалы для монтажа горелки: винты, запорная арматура) [58]	-	-	63,0
Итого			797,2

### 9.2 Расчет текущих затрат котельной до модернизации

Эксплуатация котельной требует постоянных ежегодных затрат, называемых текущими.

Текущие затраты – затраты, необходимые для создания продукции, организации производственного процесса, выполнения работ, оказания услуг. К текущим затратам относятся следующие статьи затрат:

- сырье и материалы;
- топливо;
- теплота и электроэнергия;
- энергоносители;
- амортизационные отчисления;
- текущий ремонт;
- заработная плата;
- прочие общепроизводственные затраты.

Стоимость газомазутных горелочных устройств МГМГ-6 (6 шт.) составляет  $C_1 = 196,2$  тыс. руб [58].

Сумма отчислений на амортизацию рассчитывается по формуле (9.1), тыс. руб/год:

$$P_{амор} = a \cdot C_1, \quad (9.1)$$

где  $a$  – норма отчислений на амортизацию от стоимости горелочных устройств, %. Принимается  $a = 1,6$  % [27].

$$P_{амор} = 0,016 \cdot 196,2 = 3,14 \text{ тыс. руб/год}$$

Сумма отчислений на текущий ремонт определяется по формуле (9.2), тыс. руб/год:

$$P_{\text{тек}} = t \cdot C_1, \quad (9.2)$$

где  $t$  – норма отчислений на текущий ремонт от стоимости оборудования, %.  
Принимается  $t = 1$  % [27].

$$P_{\text{тек}} = 0,01 \cdot 196,2 = 1,96 \text{ тыс. руб/год}$$

Основная и дополнительная зарплата персонала котельной по данным бухгалтерии АО «Сигнал» составляет  $C_{\text{перс}} = 1231,9$  тыс. руб/год

Сумма общепроизводственных и прочих расходов рассчитывается по формуле (9.3), тыс. руб/год:

$$P_{\text{общ}} = b \cdot C_{\text{перс}}, \quad (9.3)$$

где  $b$  – норма отчислений на общепроизводственные и прочие расходы, %.  
Принимается  $b = 10$  % от зарплат всех категорий персонала [27].

$$P_{\text{общ}} = 0,1 \cdot 1231,9 = 123,2 \text{ тыс. руб/год}$$

Сумма отчислений на социальные нужды рассчитывается по формуле (9.4), тыс. руб/год:

$$P_{\text{соц}} = c \cdot C_{\text{перс}}, \quad (9.4)$$

где  $c$  – норма отчисления на социальные нужды, %. Принимается  $c = 34$  % от зарплаты персонала котельной [27].

$$P_{\text{соц}} = 0,34 \cdot 1231,9 = 418,9 \text{ тыс. руб/год}$$

Расход газа на котел ПТВМ-30ГМ составляет  $V = 1,07 \text{ м}^3/\text{с}$  [37]. Годовой расход газа составит  $V_{\text{год}} = 1,07 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 = 33,74$  млн.м<sup>3</sup>/год.

Сумма затрат на природный газ определяется формулой (9.5), тыс. руб/год:

$$P_{\text{газ}} = p \cdot V_{\text{год}}, \quad (9.5)$$

где  $p$  – тариф на природный газ в Челябинске в 2017г., руб./1000 м<sup>3</sup>.  
 $p = 3531$  руб./1000 м<sup>3</sup> [61].

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

$$P_{\text{газ}} = 3531 \cdot 33,74 = 119135,94 \text{ тыс. руб/год}$$

Расход воды котлом ПТВМ-30 составляет  $G = 370 \text{ м}^3/\text{ч}$  (см. табл. 5.1). Годовой расход воды составит  $G_{\text{год}} = 370 \cdot 24 \cdot 365 = 3,24 \text{ млн.м}^3/\text{год}$ .

Сумма затрат на водоснабжение определяется формулой (9.6), тыс. руб/год:

$$P_{\text{вод}} = w \cdot G_{\text{год}}, \quad (9.6)$$

где  $w$  – тариф на водоснабжение в Челябинске в 2017г., руб/м<sup>3</sup>.

$$w = 23,6 \text{ руб/м}^3 [60].$$

$$P_{\text{вод}} = 23,6 \cdot 3,24 \cdot 10^6 = 76492,32 \text{ тыс. руб/год}$$

Общая сумма текущих затрат котельной до модернизации определяется формулой (9.7), тыс. руб/год:

$$u_1 = P_{\text{амор}} + P_{\text{тек}} + P_{\text{общ}} + P_{\text{соц}} + P_{\text{газ}} + P_{\text{вод}} \quad (9.7)$$

$$u_1 = 3,14 + 1,96 + 123,2 + 418,9 + 119135,94 + 76492,32 = 196175,46 \text{ тыс. руб/год}$$

Себестоимость производства 1 Гкал теплоты, отпущенной котельной до модернизации, рассчитывается по формуле (9.8), руб/Гкал:

$$S_1 = \frac{u_1}{Q_2}, \quad (9.8)$$

где  $u_1$  – общая сумма текущих затрат котельной до модернизации по формуле (9.6), руб/год;

$Q_2$  – годовой отпуск теплоты, Гкал.

Для котла ПТВМ-30ГМ  $Q_2 = 30 \cdot 24 \cdot 365 = 262800 \text{ Гкал}$ .

По формуле (9.8) себестоимость 1 Гкал равна:

$$S_1 = \frac{196175,46}{262800} = 746,5 \text{ руб./Гкал}$$

### 9.3 Расчет текущих затрат котельной после модернизации

По таблице 9.1 стоимость газовых горелочных устройств МГМГ-6 (6 шт.) составляет  $C_2 = 303,6 \text{ тыс. руб}$ .

По формуле (9.1) сумма отчислений на амортизацию составит:

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74



$$P_{амор} = 0,016 \cdot 303,6 = 4,86 \text{ тыс. руб/год}$$

По формуле (9.2) сумма отчислений на текущий ремонт составляет:

$$P_{тек} = 0,01 \cdot 303,6 = 3,04 \text{ тыс. руб/год}$$

Рассчитаем расход природного газа и воды котельной после модернизации. Расход газа котлом ПТВМ-30ГМ составляет  $B_2 = 1,047 \text{ м}^3/\text{с}$  (см. таблицу 5.6). Годовой расход газа составит  $B_{год} = 1,047 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 = 33,02 \text{ млн.м}^3/\text{год}$ . По формуле (9.5) сумма затрат на газ составит:

$$P_{газ} = 3531 \cdot 33,02 = 116593,62 \text{ тыс. руб/год}$$

Годовой расход воды составит  $B_{вод} = 370 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 = 3,24 \text{ млн.м}^3/\text{год}$ . По формуле (9.6) сумма затрат на воду составит:

$$P_{вод} = 23,6 \cdot 3,24 \cdot 10^6 = 76492,32 \text{ тыс. руб/год}$$

Будем считать, что сумма общепроизводственных и прочих расходов, отчислений на социальные нужды останутся неизменными и равными по формулам (9.3), (9.4):

$$P_{общ} = 123,2 \text{ тыс. руб/год}$$

$$P_{соц} = 418,9 \text{ тыс. руб/год}$$

Общая сумма текущих затрат котельной после модернизации по формуле (9.6), составит

$$u_2 = 4,86 + 3,04 + 123,2 + 418,9 + 116593,62 + 76492,32 = 193635,94 \text{ тыс. руб/год}$$

Для котла ПТВМ-30 годовой отпуск тепла составит:

$$Q_2 = 30 \cdot 24 \cdot 365 = 262800 \text{ Гкал/год.}$$

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

Таким образом, себестоимость 1 Гкал теплоты, отпущенной котельной после реконструкции котла, по формуле (9.7) равна:

$$S_2 = \frac{193635,94}{262800} = 736,8 \text{ руб/Гкал}$$

#### 9.4 Расчет срока окупаемости проекта модернизации котельной

Срок окупаемости определяется по формуле (9.9), год

$$T_{ок} = \frac{K}{(S_1 - S_2) \cdot Q_2}, \quad (9.9)$$

где  $K$  – капитальные затраты проекта модернизации котельной, руб,  
(см.таблицу 9.1);

$S_1, S_2$  – себестоимости 1 Гкал теплоты, отпущенной котельной до модернизации и после соответственно;

$Q_2$  – годовой отпуск тепла, Гкал/год.

$$T_{ок} = \frac{797200}{(746,5 - 736,8) \cdot 262800} = 0,31 \text{ года} = 3,8 \text{ месяца}$$

В таблице 9.2 представлены результаты расчетов текущих затрат котельной до и после модернизации, себестоимость 1 Гкал тепла.

Таблица 9.2 – Результаты расчетов текущих затрат и себестоимости 1 Гкал тепла

Показатель	Единица измерения	Величина	
		до модернизации	после модернизации
Амортизация	тыс. руб/год	3,14	4,86
Текущий ремонт	тыс. руб/год	1,96	3,04
Общепроизводственные и прочие расходы	тыс. руб/год	123,20	123,20
Отчисления на социальные нужды	тыс. руб/год	418,90	418,90
Затраты на природный газ	тыс. руб/год	119135,94	116593,62
Затраты на водоснабжение	тыс. руб/год	76492,92	76492,32
Общая сумма текущих затрат	тыс. руб/год	196175,46	193635,94

Стоимость 1 Гкал тепла	Руб/Гкал	746,5	736,8
------------------------	----------	-------	-------

Таким образом, модернизация котельного агрегата ПТВМ-30 ГМ АО «Сигнал» путем замены горелочных устройств является экономически целесообразной, ввиду того, что себестоимость 1 Гкал тепла, отпущенной котельной после модернизации ниже, чем до модернизации. Также по результатам расчета срок окупаемости модернизации составляет 3,8 месяца, что не превышает 5 лет.

### 9.5 Качественный анализ вариантов проектных решений (SWOT – анализ)

Сравнительный анализ вариантов проектных решений осуществляется методом SWOT. Для этого составляются минимум две матрица, в квадрантах которых приводятся сильные (S), слабые (W) стороны каждого варианта, его возможности (O) и угрозы (T) во внешней среде [21].

Таблица 9.3 – SWOT-анализ варианта без реконструкции

Сильные стороны (S)	Слабые стороны (W)
1) Опыт работы персонала с существующими горелочными устройствами; 2) Стабильная работа оборудования; 3) Простота конструкции; 4) Отсутствие капитальных затрат	1) Износ горелочных устройств, потребность в замене оборудования; 2) Высокая аварийность; 3) Низкий КПД котельного агрегата; 4) Большой расход топлива, сжигаемого в котельном агрегате; 5) При работе горелочных устройств может происходить неполное сгорание топлива
Возможности (O)	Угрозы (T)

<p>1) Устойчивый спрос на тепловую энергию;  2) Удовлетворение нужд потребителей в результате бесперебойного и стабильного снабжения тепловой энергией.</p>	<p>1) Истощение первичных ресурсов;  2)Повышение цен на энергоресурсы и на их транспортировку;  3) Повышение негативного воздействия на окружающую среду;  4) Скачки курсов валют;  5) Законы, ограничивающие объемы выбросов в окружающую среду;</p>
---	---

Таблица 9.4 – SWOT-анализ проекта с реконструкцией (замена горелочных устройств)

Сильные стороны (S)	Слабые стороны (W)
<p>1)Низкий расход топлива позволяет снизить затраты на энергоресурсы;  2)Повышенный КПД котельного агрегата за счет установки эффективных горелок;  3)Высокий уровень надежности и безопасности;  5)Быстрый запуск горелочных устройств;  6)Горелочные устройства обеспечивают устойчивое горение и высокую полноту сгорания топлива;  8)Снижение текущих затрат на энергетическое обслуживание горелочных устройств.</p>	<p>1)Капитальные затраты на реконструкцию;  2)Необходимость повышения квалификации персонала при работе на новом оборудовании;  3) Поверхность горелочного устройства под воздействием высокой скорости газового потока, подвержена перегреву;  4) Эффективность горения зависит от давления в сети.</p>
Возможности (O)	Угрозы (T)
<p>1) Удовлетворение нужд потребителей в результате бесперебойного и стабильного снабжения тепловой энергией;  2) Поддержка со стороны властей.</p>	<p>1) Высокая стоимость трудовых ресурсов;  2) Рост цен на оборудование;  3) Повышение цен на энергоресурсы и на их транспортировку;  4) Низкий уровень инвестиций в стране;  5) Скачки курсов валют.</p>

На основании проведенного анализа можно утверждать, что установка горелочных устройств более предпочтительна, так как этот вариант имеет больше сильных сторон и возможностей и меньше слабых и угроз.

## 9.6 Планирование целей проекта в дереве целей

Дерево целей проекта представляет структурную модель, показывающую соподчиненность и связь целей подразделений в иерархии управления. Для его построения цель предприятия делится на проектные цели.

К каждой из определяемых на нижнем уровне детализации целей, насколько это возможно, применяются требования SMART (Specific – конкретная; Measurable – измеримая; Achievable – достижимая; Realistic – реалистичная; Timed – ограниченная по времени).

Составление дерева целей проекта позволяет наиболее рационально спланировать комплекс мероприятий по проведению реконструкции [21].

Дерево целей реконструкции котла ПТВМ-30ГМ путем замены горелочных устройств представлено на рисунке 9.1.

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79



## 9.7 Оценка движущих и сдерживающих сил при разработке проекта

Для оценки движущих и сдерживающих сил пользуются полем сил Курта Левина. Он предложил рассматривать любую ситуацию или организацию, как балансирующие между движущими и сдерживающими силами изменения. Иными словами, с одной стороны на объект изменения воздействуют движущие силы, с другой препятствуют сдерживающие. Для того чтобы совершить изменение необходимо вывести ситуацию из равновесия.

Данный метод анализа является наиболее распространенным и применяется при проведении почти любых проектов изменений. Поскольку метод легок для восприятия и прост в применении, его можно использовать для начала работы по управлению изменениями.

В основном, при выполнении анализа поля сил его изображают графически, в центре указывается цель проекта, а сверху и снизу приводятся примеры движущих и сдерживающих сил в виде стрелок. Мощность каждой силы показывается толщиной стрелки. Кроме того, следует учитывать потенциал изменений – те силы, которые в настоящий момент не используются, но могут оказывать влияние на реализацию проекта. [21].

Движущими силами при проведении реконструкции котла ПТВМ-30ГМ в порядке убывания их мощности являются:

1. Повышение цен на топливо;
2. Наличие денежных средств на реконструкцию;
3. Рост тарифов на тепловую и электрическую энергию;
4. Появление современного и эффективного энергетического оборудования;
5. Наличие конкуренции.

Из наиболее мощных движущих сил можно выделить: повышение цен на топливо, наличие денежных средств на модернизацию. Рост цена на топливо происходит каждый год. Старые горелочные устройства используют слишком большой объем топлива для поддержания нормальной работы котла, что негативно отражается на текущих затратах завода АО Сигнал. Потребность в снижении текущих затрат, при наличии денежных средств на реконструкцию, окажет наибольшее влияние на осуществление замены горелочных устройств котельного агрегата. Наличие конкуренции обусловлено присутствием на рынке других теплоснабжающих предприятий.

Сдерживающими силами при проведении модернизации котельной являются:

1. Рост цен на оборудование;
2. Рост стоимости трудовых ресурсов;
3. Отсутствие мотивации для рабочего и обслуживающего персонала.

В сложившейся экономической ситуации происходит постоянное увеличение цен на оборудование, сырье, транспорт, это является основной проблемой при выполнении экономических расчетов проекта модернизации. Также в качестве сдерживающей силы осуществления проекта реконструкции оказывает влияние отсутствие мотивация рабочего персонала. Это происходит из-за того, что

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

персонал котельной продолжительное время работает на существующем оборудовании, привыкая к нему и в последствии не желая производить какие-либо изменения, ведь после замены оборудования персоналу понадобится время и дополнительные усилия на переобучение и переподготовку для работы на новом, современном оборудовании.

Анализ поля сил проведения реконструкции котла ПТВМ-30ГМ путем замены горелочных устройств представлен на рисунке (9.2).



Рисунок 9.2 – Анализ поля сил К.Левина

На основании проведенного анализа поля сил можно сделать вывод о том, что реконструкция котельного агрегата ПТВМ-30ГМ завода АО «Сигнал» путем замены горелочных устройств является выполнимой, так как количество и мощность движущих сил превышает количество и мощность сдерживающих.



## 9.8 Планирование мероприятий по реализации проекта (график Ганта)

Чтобы показать комплекс работ по реализации проекта, составляется ленточный график работ, представленных в дереве целей. Этот график носит название графика Ганта. График представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Каждый отрезок соответствует отдельному проекту, задаче или подзадаче.

Проекты, задачи и подзадачи, составляющие план, размещаются по вертикали. Начало, конец и длина отрезка на шкале времени соответствуют началу, концу и длительности задачи.

График Ганта проекта реконструкции котельного агрегата ПТВМ-30ГМ завода АО «Сигнал» путем замены горелочных устройств представлен в ПРИЛОЖЕНИИ А.

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате сравнения горелочных устройств котельного агрегата отечественного производства и зарубежных аналогов предпочтение отдано отечественным горелочным устройствам.

В специальной части бакалаврской работы проведены тепловой и аэродинамический расчет котельного агрегата и расчет горелочных устройств. В результате проведения теплового расчета котла невязка теплового баланса не превысила 0,5%. По итогам аэродинамического расчета определены сопротивления воздушного и газового тракта котельного агрегата ПТВМ-30ГМ. В расчете горелочных устройств определены основные параметры газа и воздуха, глубина проникновения газовых струй в поток воздуха, диаметр расширившейся струи. А так же рассчитана экономия топлива, полученная в результате проведения реконструкции.

В разделе энергосбережение представлены пути энергосбережения и повышения энергоэффективности в котельных.

В разделе вопросы экологии рассчитана максимальная приземная концентрация окислов азота содержащихся в дымовых газах, полученные значения не превысили предельно допустимых значений.

В седьмой главе описана автоматизация котельного агрегата ПТВМ-30ГМ.

В разделе безопасность жизнедеятельности рассмотрены возможные причины определены требования безопасности производственного оборудования, требования безопасности, предъявляемые к горелочным устройствам, требования к безопасным условиям эксплуатации котлов, требования охраны труда при монтаже и демонтаже тепловых энергоустановок, требования к освещению помещений производственных и складских зданий, требования электробезопасности и пожаробезопасности.

В экономико-управленческой части произведен расчет капитальных затрат проведения модернизации котельной, которые составили 797,2 тыс. руб. Также определены текущие затраты котельной до и после модернизации, которые составили соответственно 196175,46 тыс. руб./год и 193635,94 тыс. руб./год. Срок окупаемости проекта реконструкции составил 3,8 месяца.

Таким образом, цель выпускной квалификационной работы – повышение энергоэффективности котельного агрегата и энергосбережение, достигнута. В результате проведения реконструкции снизился расход топлива на горелки и повысился коэффициент полезного действия котельного агрегата.

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» от 13 ноября 2009 года // Российская газета, 2009. – 24 с.

2 «Стратегии социально-экономического развития Челябинской области до 2020 года» от 26 марта 2014 года // Южноуральская панорама, 2014. – 93 с.

3 Приказ Минтруда России от 17.08.2015 № 551н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок» // Российская газета, 2009. – 15 с.

4 Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390 (ред. от 10.11.2015) «О противопожарном режиме» // Российская газета, 2012. – 15 с.

5 Федеральный закон от 27.07.2010 №190-ФЗ (ред. от 18.07.2011) «О теплоснабжении» // Российская газета, 2010. – 51 с.

6 Федеральный закон от 23.11.2009 №261-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // Российская газета, 2009. – 44 с.

7 Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» // Российская газета, 2009. – 41 с.

8 СП 89.13330.2012 Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП 2-35-76 – М.: Минрегион России, 2012. – 93 с.

9 СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\* (с Изменением N 2) – М.: Минрегион России, 2012. – 115 с.

10 СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 35 с.

11 СП 5.131130.2015 Системы пожарной сигнализации и установки пожаротушения автоматические, автономные. – М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России. – 2015. – 251 с.

12 СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\* – М.: Минрегион России, 2011. – 68 с.

13 ПБ 10-574-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов. – М.: ПИО ОБТ, 2003. – 95 с.

14 ГОСТ 21204-97 Горелки газовые промышленные. Общие технические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 35 с.

15 ГОСТ 31607–2012 Энергосбережение. Нормативно-методическое 16обеспечение. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2012. – 16 с.

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

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

18 ГОСТ 14202-69. Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 15 с.

19 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Стандартиформ, 1991. – 48 с.

20 ГОСТ 12.2.007.0-75 ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности – М.: Стандартиформ, 1978. – 15 с.

21 СТО ЮУрГУ 04–2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

22 Алабугин, А.А. Экономико-управленческая часть дипломного проекта: учебное пособие / А.А. Алабугин, Р.А. Алабугина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 46 с.

23 Бакланова, Н.Н. Котлы и котельные установки зарубежных фирм-производителей, представленные на рынке России: отраслевой каталог 04-03 / Н.Н. Бакланова, А.В. Васичкина, Г.Р. Побережский. – М.: Инпромкаталог, 2006. – 116 с.

24 Белов, С.В. Безопасность жизнедеятельности / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др., 7-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2007. – 616 с.

25 Блинов, Е.А. Топливо и теория горения. Раздел – подготовка и сжигание топлива: Учебно-методический комплекс (учебное пособие) / Е.А. Блинов. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2007. –119 с.

26 Бойко, Е.А. Котельные – установки и парогенераторы (Аэродинамический расчет котла): учебное пособие / Е.А. Бойко, И.С. Деринг, Т.И. Охорзина. Красноярск.: Изд-во Красноярского государственного технического университета, 2006. –71с.

27 Бологова, В. В. Экономика энергетики: учебник для вузов / В.В. Бологова, Н.Д. Рогалев, А.Г. Зубкова; под ред. Н.Д. Рогалёва – М.:МЭИ, 2011. – 320 с.

28 Бузников, Е. Ф. Производственные и отопительные котельные: научное издание / Е.Ф. Бузников, К.Ф. Роддатис, Э.Я. Берзиньш. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат – 248 с.

29 Булкин, А.Е. Автоматическое регулирование энергоустановок: учебное пособие для вузов / А.Е. Булкин. – М.: Изд-во МЭИ, 2009. – 508 с.

30 Волощенко, А.В. Горбунов Д.Б. Проектирование функциональных схем систем автоматического контроля и регулирования / А.В. Волощенко, Д.Б. Горбунов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 109 с.

31 Грибанов, А.И. Расчет дымовой трубы. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования / А.И. Грибанов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008г. – 22с.

32 Данилов, О.Л. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник / Данилов О.Л. – М.: Изд-во МЭИ, 2010. – 188 с.

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

33 Делягин, Г. Н. Теплогенерирующие установки: Учеб. для вузов / Г.Н. Делягин, В.И. Лебедев, Б.А. Пермяков. – М.: Стройиздат, 1986. – 559 с.

34 Зайцев, В.А. Промышленная экология / В.А. Зайцев – М.:БИНОМ Лаборатория Знаний, 2012. – 382 с.

35 Калыгин, В.Г. Промышленная экология: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.Г. Калыгин. – 4-е изд., перераб. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 432 с.

36 Краецкая, О.Ф Экология промышленных технологий / О.Ф. Краецкая, И.Н. Прокопеня. – Минск: БНТУ, 2014. – 107 с.

37 Кудинов, А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина – М.: Машиностроение, 2011. – 374 с., ил.117

38 Кузнецов, Н.В. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / Н.В. Кузнецов, 2-е изд., перераб. РЕПРИНТ – М.:ЭКОЛИТ, 2011 – 296 с.

39 Акимов Ю.И., Васильев А.В., Мусатов Ю.В.: Под редакцией Антропова Г.В. “Тепловой расчет котлоагрегатов”, СГТУ, Саратов, 1994

40 Кязимов, К.Г. Справочник работника газового хозяйства / Кязимов К.Г. – М.: Высшая школа, 2006. – 280 с.

41 Липатников, Г.А. Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики / Г. А. Липатников, М. С. Гузеев. – Владивосток: ДВПИ, 2007 – 136 с.

42 Липов, Ю.М. Котельные установки и парогенераторы: учебник для вузов / Ю.М. Липов, Ю.М. Третьяков. – М.:Энергоатомиздат, 2006. – 208 с.

43 Мунц, В.А. Поверочный расчет горелочных устройств: методическая разработка к курсовой работе по курсу «Основы теории горения топлив» / В.А. Мунц, Е.Ю. Павлюк. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. – 20 с.

44 Минкина, С. А. Тепловой и аэродинамический расчеты котельных агрегатов / С. А. Минкина. – Самара: СГАСУ, 2013. – 104 с.

45 Овчаренко, Н.И. Автоматика энергосистем. Учебник для вузов / под ред. Л.Ф. Дьякова. 3-е издание, исправленное. – М.:МЭИ, 2009. – 469 с.

46 Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов / Г.П. Плетнев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с.

47 Ривкин, А.С. Тепловой расчет котлоагрегата: учебное пособие / А.С. Ривкин. – Иваново: ИГЭУ, 2011. – 144 с.

48 Росляков, П.В. Методы защиты окружающей среды / П.В. Росляков. – М.: Изд-во МЭИ, 2007. –336 с.

49 Сергеев, А.В. Справочное учебное пособие для персонала котельных: Топливное хозяйство котельных / А.В. Сергеев. – СПб.: ДЕАН, 2003. –320 с.

50 Сидельковский, Л. Н. Котельные установки промышленных предприятий: учебник / Л. Н. Сидельковский, В. Н. Юренев, 4-е изд., репринт. – М.: Бастет, 2009. – 528 с.

51 Соколов, Б.А. Котельные установки и их эксплуатация / Б. А. Соколов, – М.: Академия, 2007. – 432 с.

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

52 Тарасюк, В.М. Эксплуатация котлов: практическое пособие для оператора котельной / В.М. Тарасюк; под ред. Б.А. Соколова. – М.: ЭНАС, 2008. – 272 с.

53 Фокин, В.М. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения / В.М. Фокин. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006. – 240 с.

54 Хуторной, А.Н. Аэродинамический расчет газовоздушного тракта котла: методические указания / А.Н. Хуторной, С.В. Хон. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. – 40 с.

55 Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов / О.Л. Данилов, А.Б. Гаряев, И. В. Яковлев и др.; под ред. А.В. Клименко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 424 с.

56 Горелки RAY – [http://www.energogaz.su/catalog/gorelki\\_ray\\_international/](http://www.energogaz.su/catalog/gorelki_ray_international/)

57 Средний состав газа, его теплота сгорания, плотность, объемы воздуха и продуктов сгорания – <http://www.rcom.ru/mobil/PL.htm>

58 Дорогобужкотломаш: каталог продукции – <http://www.dkm.ru/price-list/>

59 Приказ Федеральной антимонопольной службы от 26.12.2016 № 1870/16 "Об утверждении оптовых цен на газ, добываемый ПАО "Газпром" и его аффилированными лицами, предназначенный для последующей реализации населению" –

<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201701200009?index=4&rangeSize=1>

60 Тарифы на услуги водоснабжения и водоотведения – <http://www.mosvodokanal.ru/forabonents/tariffs/>

61 Тарифы на газ в Челябинске и Челябинской области – [http://energovopros.ru/spravochnik/gazosnabzhenie/tarify-na-gaz/cheljabinskaya\\_oblast/33162/](http://energovopros.ru/spravochnik/gazosnabzhenie/tarify-na-gaz/cheljabinskaya_oblast/33162/)

					13.03.01.2017.101.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88