

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,
Начальник участка наладки
и испытаний АО «Челябоблкоммунэнерго»
_____ Е.И. Аднцев
« ____ » _____ 2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

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

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ КОТЕЛЬНОЙ В Г. КОПЕЙСКЕ,
УЛ. ЭНЕРГЕТИКОВ, 1**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА
ЮУрГУ–13.03.01.2017.083.02.ПЗ ВКР

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

Руководитель работы,
к.т.н., доцент
_____ В.Ю. Шашкин
« ____ » _____ 2017 г.

Нормоконтролер,
старший преподаватель
_____ Р.А. Алабугина
« ____ » _____ 2017 г.

Автор работы,
студент группы П-479
_____ В.В. Готман
« ____ » _____ 2017 г.

АННОТАЦИЯ

Готман В.В. Техническое перевооружение котельной в г. Копейске, ул. Энергетиков, 1. – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, Э; 2017, 86 с., 2 ил., библиогр. список – 60наим., 5 листов чертежей ф.А1, 1 лист плаката ф.А1.

В районной котельной города Копейска было принято решение провести техническое перевооружение: вывести из эксплуатации существующее морально изношенное и устаревшее оборудование – горелочные устройства и автоматику водогрейных котлов ПТВМ-30.

Целью выпускной квалификационной работы (ВКР) является предложение схемы технического перевооружения районной котельной для работы более современного оборудования на основе замены автоматики и более энергоэффективных горелочных устройств.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, 9-ти глав, заключения, библиографического списка и приложения. Пояснительная записка содержит разделы, в которых приводится обоснование технического перевооружения котельной, проведено сравнение отечественных и зарубежных технологий в области горелочных устройств, произведен тепловой и аэродинамический расчет котла и расчет горелочных устройств, рассмотрены основные методы энергосбережения в котельной, уделено внимание вопросам экологии, выполнен расчет дымовой трубы, приводится описание автоматики котла. Произведен SWOT-анализ котельного оборудования, рассчитан срок окупаемости в результате замены автоматики и горелочных устройств, произведена оценка движущих и сдерживающих сил при разработке проекта, рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности при работе энергетического оборудования котельной.

Графическая часть выполнена с применением AutoCAD и Компас-3D– систем автоматизированного проектирования на 6 листах формата А1.

13.03.01.2017.083.02 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				Лит.	Лист	Листов			
Выполнил		Готман В.В.		23.05	Техническое перевооружение котельной в г. Копейске, ул. Энергетиков, 1				В	К	Р	3	86
Руковод.		Шашкин В.Ю		26.05.17					ЮУрГУ Кафедра промышленной теплоэнергетики				
Н.контр.		Алабугина Р.А		27.05.17									
Зав.каф.		Осинцев К.В.		29.06.17									

ВВЕДЕНИЕ

В России, как и во всем мире, существенно возросло и продолжает возрастать потребление энергии. И вместе с тем наблюдается постоянный рост стоимости всех видов топлива. Известно, что на теплоснабжение гражданских и производственных зданий расходуется более одной трети всего добываемого в России органического топлива. И поэтому все более актуальной и значимой задачей является экономное расходование теплоты на всех этапах от ее выработки до потребителя.

В развитых странах эффективное использование топливно-энергетических ресурсов является важнейшим направлением энергетической политики. Уменьшение запасов топлива и увеличение цен на него, экологические проблемы делают вопрос рационального использования энергии все более актуальным.

Производство энергии и загрязнение окружающей среды тесно связаны между собой, так как большая часть энергии вырабатывается при сжигании топлива. При сжигании топлива в атмосферу вместе с дымовыми газами попадают и вредные вещества. Энергосбережение способно сократить загрязнение окружающей среды.

Промышленная теплоэнергетика подразумевает качественное снабжение предприятий энергией и энергоносителями такими как: пар, вода тепловая энергия, электрическая энергия, кислород. Для поддержания необходимой температурной обстановки необходимо оборудовать производственные и жилые здания установками теплоснабжения, которые включают в себя все что требуется для экономичного, безопасного и качественного получения тепловой энергии. Как показывает практика, использование современных децентрализованных источников теплоснабжения повышает энергоэффективность, себестоимость такого тепла ниже централизованного.

В большинстве случаев тепловая энергия производится на ТЭС и в централизованных котельных. В России производство тепловой энергии на ТЭС составляет 37%, а в котельных установках примерно 45%.

Целью энергетической политики России до 2030 года является эффективное использование энергетических ресурсов и потенциала энергетического сегмента для надежного развития экономики, повышения уровня жизни населения и укрепления экономических показателей в мире. Для этого необходимо стимулирование стратегических начинаний в энергетике, так как это является базой для воплощения значительных энергетических проектов в перспективе.

Теплоснабжение центральной части г. Копейска обеспечивается за счет районной котельной и семнадцати малых котельных, расположенных в центральной части города. Квартальные тепловые сети малых котельных связаны между собой и сетью районной котельной (после ЦТП), что позволяет перераспределять нагрузки между котельными посредством секционирующих задвижек.

Установленная мощность районной котельной составляет 119,41 Гкал/ч. Присоединенная нагрузка потребителей 94,89 Гкал/ч. Величина располагаемой

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

мощности районной котельной принята по установленной мощности, так как нет данных по режимно-наладочным испытаниям установленных котлоагрегатов.

Утвержденный температурный график отпуска тепловой энергии в сеть от районной котельной 130/70°C со срезкой на 73°C в точке излома при температуре наружного воздуха – 6.5°C.

Отпуск тепловой энергии в сеть от квартальных котельных по утвержденному температурному графику 95/70°C со срезкой на 56°C в точке излома при температуре наружного воздуха – 6.5°C.

Целью технического перевооружения котельной послужила потребность в удовлетворение спроса на тепловую энергию и теплоноситель, обеспечение надежного теплоснабжения наиболее экономичным способом при минимальном воздействии на окружающую среду, а также экономического стимулирования развития систем теплоснабжения и внедрение энергосберегающих технологий.

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕООРУЖЕНИЯ КОТЛА ПТВМ-30 РАЙОННОЙ КОТЕЛЬНОЙ ГОРОДА КОПЕЙСКА И ЕЕ АКТУАЛЬНОСТЬ

Районная котельная города Копейска обеспечивает энергоресурсами нужды центральной части города Копейска, а также собственные нужды.

В котельной установлено: 5 котлов суммарной производительностью 119,41 Гкал/ч. Для нагрева сетевой воды используется 2 водогрейных котла ПТВМ-30 производительностью 38,05 Гкал/ч и 37,27 Гкал/ч. Два паровых котла ДКВР-20-13 производительностью 20 т/ч каждый. Один водогрейный котел КВ-ГМ-23,26-150 производительностью 20 Гкал/ч.

Проблемы связанные с решением энергосбережения на производстве являются первостепенным условием, в связи с этим требуется перевооружать, модернизировать имеющееся оборудование, чтобы снизить количество потребляемой энергии.

Важными факторами для технического перевооружения котельной послужили: моральный и физический износ оборудования, снижающий коэффициент полезного действия котельного агрегата, старая или работающая в неправильном режиме автоматика и малоэффективные горелочные устройства.

Проектом предусматривается замена автоматики двух котлов ПТВМ-30, горелочных устройств морально и физически устаревших, это подтверждает их низкая эффективность, повышенный расход топлива, большое количество выбросов в атмосферу.

В качестве основного топлива перевооружаемой котельной используется природный газ по ГОСТу 5542-87 с низшей теплотой сгорания газа $Q_n=8774$ ккал/м³. Аварийное топливо мазут – М100.

Для определения процессов, происходящий в котле, составляется тепловой баланс. Под тепловым балансом подразумевается отношение полезной и потерянной теплоты. Больше всего теряется теплоты с уходящим газом. Для уменьшения потерь следует уменьшить коэффициент избытка воздуха. Под коэффициентом избытка воздуха понимается – отношение действительного к теоретическому количеству воздуха для полного сгорания топлива. Установка высокоэффективных газовых горелок уменьшит коэффициент избытка воздуха.

Горелки выполняют функцию подачи топлива и воздуха, с последующим перемешиванием, для стабильного процесса горения. Горение топлива – реакция, при которой соединяются горючие элементы топлива с окислителем, при высокой температуре, сопровождающаяся большим выделением тепла. В роли окислителя применяют кислород.

В процессе соединения кислорода с горючими элементами топлива, химическая энергия топлива превращается в тепловую, которая направляется для нагрева продуктов сгорания. При горении топлива, образовавшиеся вредные вещества и газы уносятся в атмосферу.

Предусмотрена замена горелок на современные газовые вихревые горелки ГМВАТ2-7,5, имеющие меньший расход топлива на горелку и меньший

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

коэффициент избытка воздуха, в связи с этим уменьшаются потери тепла с уходящими газами, повышается коэффициент полезного действия котла.

Также предусмотрена замена автоматизации котлов, разработанная на базе австрийской автоматики серии X20 компании V&R.

ЦПУ серии X20 предназначен для установки на монтажной рейке в шкафу управления, что позволяет непосредственно подсоединить до 250 модулей ввода/вывода X20 – 3000 каналов. Это обеспечивает наивысшую производительность, а также преимущества удаленной внутренней шины. Блок питания, встроенный в ЦПУ, с выводами электропитания системы ввода/вывода, обеспечивает электропитание для внутренней шины, датчиков и исполнительных механизмов ввода/вывода, устраняя потребность в дополнительных компонентах системы.

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Выпускная квалификационная работа разработана согласно распоряжению Правительства РФ «Энергетической стратегии России до 2030 года» от 13 ноября 2009 [16], а также постановлению Законодательного Собрания Челябинской области «Стратегии развития Челябинской области до 2020 года» от 25 октября 2007 г. [14].

Главными задачами энергетической стратегии России являются: энергоэффективное развитие, изменение масштабов производства энергетических ресурсов, интегрирование в мировую энергетическую систему, конкурентная рыночная среда, укрепление экономики и улучшение качества жизни граждан.

При разработке проекта по техническому перевооружению отопительной котельной была использована следующая учебно-методическая и нормативно-справочная литература:

Раздел «Энергосбережение» выполнен в соответствии с «Федеральным законом РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» [25].

Тепловой расчет котельного агрегата выполнен согласно нормативному методу [23] и СП 89.13330.2012. Котельные установки/Актуализированная редакция СНиП II-35-76 [19].

Аэродинамический расчет котла был выполнен согласно литературе [25], [52] и СП 89.13330.2012 Котельные установки [8].

Основным документом при написании раздела «Вопросы экологии» является Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ [26].

При написании раздела «Безопасность жизнедеятельности» применены следующие основные нормативные документы:

- ГОСТ 12 0 003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы [5].
- ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность [6].
- СНиП 41-03-2003 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов [17].

Раздел «Безопасность жизнедеятельности» был написан согласно использованию пособия "Безопасность жизнедеятельности в энергетике" [3], в котором рассмотрены организационно-правовые основы, методы, обеспечивающие безопасность жизнедеятельности рабочего персонала промышленного предприятия. Особое внимание уделено вопросам обеспечения безопасности персонала, связанного с обслуживанием, ремонтом и наладкой электрооборудования.

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. Правовое управление связано с приказами федеральных подразделений: приказ Минтруда России №551н «Об утверждении

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

правил по охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок», приказы Ростехнадзора № 116 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» и № 533 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения».

Оформление пояснительной записки выполнено согласно СТО ЮУрГУ 04–2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению [20].

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

Горелка для отопительного котла – это устройство, в котором происходит сжигание топлива. Выбор горелочного устройства является важнейшим мероприятием, ведь от правильного выбора зависит эффективность работы оборудования, коэффициент полезного действия, рациональное использование топлива, а также уровень вредных выбросов в атмосферу.

В настоящее время на рынке представлен большой выбор горелочных устройств отечественного и зарубежного производства, различающихся по способу подачи воздуха, по виду сжигаемого топлива и по типу регулирования горелки. Особой популярностью пользуются вихревые горелки. Одной из них является вихревая горелка Бийского котельного завода – ГМВАТ2-7,5. Горелочное устройство обеспечивают стабильную работу с сохранением оптимального соотношения топливо/воздух в диапазоне нагрузок от 10 до 100%, соответствует всем современным требованиям безопасности, экономичной и безаварийной эксплуатации объекта.

Система управления позволяет в автоматическом режиме выполнять следующие технологические функции:

- проверка герметичности газовой арматуры;
- продувка газоходов котла;
- розжиг котла и регулирование мощности;
- предупредительная и аварийная сигнализация;
- технологические защиты и блокировки;
- аварийный остановка при достижении предельных значений параметров;
- дистанционное управление.

Также на рынке горелок для промышленных котлов множество зарубежных компаний. Одна из них – итальянская компания – Cib Unigas, выпускает газовые и жидкотопливные горелки для котлов разной производительности. Горелочное устройство CINQUECENTO R525A. Газовые горелки Cib Unigas серии Cinquecento производятся с диапазоном мощности до 8000 кВт и предназначены для работы на природном газе или сжиженном газе. Также возможно исполнение горелок для работы на двух видах газа. Газовые горелки Cib Unigas моноблочного исполнения имеют встроенный в корпус горелки воздушный вентилятор, а двухблочные горелки комплектуются внешний или как его еще называют отдельно стоящий вентилятор.

К преимуществам горелок Cib Unigas можно отнести:

- большую единичную мощность горелок Unigas, что является редкостью для моноблочного исполнения горелок;
- большой выбор моделей и исполнений горелок, что обеспечивает возможность подбора газовой горелки для котла и технологической установки;
- существуют короткофакельные газовые горелки серии CINQUECENTO в исполнении DRAGO, что дает возможность применять их и на отечественных котлах с короткой топкой.

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

В таблице 1 приведено сравнение характеристик отечественного горелочного устройства ГМВАТ2-7,5 и зарубежного CINQUECENTO R525A.

Таблица 1 – Сравнение характеристик отечественного и зарубежного горелочного устройства

	CINQUECENTO R525A	ГМВАТ2-7,5
Тепловая мощность, МВт	2-8	7
Давление газа, кПа	50	20
Расход газа, м ³ /час	212-847	650
Коэффициент избытка воздуха	1,04	1,02-1,05
Цена, тыс. руб.	1108	76,5

Горелочные устройств зарубежного производителя имеют большой диапазон регулирования мощности, высокий уровень автоматизации. Но цена на зарубежные горелки в разы превышает цены на отечественные. В итоге целесообразней остановить выбор на горелке отечественного производителя.

4 ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ КОТЛА ПТВМ-30

Котельная представляет собой комплекс зданий и сооружений с котельными установками и вспомогательным технологическим оборудованием, предназначенными для выработки тепловой энергии в целях теплоснабжения [8].

Котел ПТВМ-30 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].

4.1 Технические характеристики котла ПТВМ-30 и характеристика топлива

Котлы ПТВМ, в основном, аналогичны между собой по конструкции, имеют башенную компоновку и выполнены в виде прямоугольной шахты, в нижней части которой находится полностью экранированная камерная топка.

Конструкция этих агрегатов допускает полуоткрытую установку. В этом случае, в помещение заключена только нижняя часть котла, где расположены горелочные устройства, арматура, автоматика и дутьевые вентиляторы.

В таблице 4.1.1 представлены технические и конструктивные характеристики котельного агрегата ПТВМ-30 согласно паспортным данным котельного агрегата.

Таблица 4.1.1 – Технические характеристики котла ПТВМ-30

Показатели	Значения
Номинальная теплопроизводительность, МВт	35
Температура воды на входе, °С	70
Энтальпия воды на входе, кДж/кг	293,3
Температура воды на выходе, °С	150
Энтальпия воды на выходе, кДж/кг	632,2

Топливом котла является природный газ месторождения Уренгой-Сургут-Челябинск с теплотой сгорания $Q_n^p = 36764$ кДж/м³, характеристика приведена в таблице 4.1.2.

Таблица 4.1.2 – Характеристика топлива, газ Уренгой-Сургут-Челябинск [56]

Элемент	Содержание по объему, %
1	2
CH ₄	98,24
C ₂ H ₆	0,29
C ₃ H ₈	0,2

Продолжение таблицы 4.1.2

1	2
C ₄ H ₁₀	0,09
C ₅ H ₁₂	0,04
N ₂	1,0

4.2 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].

4.2.1 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. Объемы и масса воздуха и продуктов сгорания при сжигании 1 м³ сухого газообразного топлива определяются по следующим формулам:

Теоретическое количество воздуха, необходимого для полного сгорания топлива (коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1$) (4.2.1):

$$V^0 = 0,0476 \cdot \left[0,5H_2 + 1,5H_2S + 2CH_4 + 0,5CO + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) \cdot C_mH_n - O_2 \right] \quad (4.2.1)$$

где CO, H₂, H₂S, O₂, CH₄, C_mH_n – объемное содержание оксида углерода, водорода, сероводорода, кислорода, метана и других углеводородов в топливе в процентах, значения приведены в таблице 4.1.2.

$$V^0 = 0,0476 \cdot \left[2 \cdot 98,24 + \left(2 + \frac{6}{4} \right) \cdot 0,29 + \left(3 + \frac{8}{4} \right) \cdot 0,2 + \left(4 + \frac{10}{4} \right) \cdot 0,09 + \left(5 + \frac{12}{4} \right) \cdot 0,04 \right] =$$

$$= 9,49 \text{ м}^3 \text{ воздуха/м}^3 \text{ топлива}$$

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Теоретический объем двухатомных газов (4.2.2):

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,01 \cdot N_2 \quad (4.2.2)$$

где N_2 – объемное содержание двухатомных газов в процентах, значения приведены в таблице 4.1.2.

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

Объем трехатомных газов (4.2.3):

$$V_{RO_2}^0 = 0,01 \cdot (CO_2 + CO + H_2S + \sum m \cdot C_m H_n) \quad (4.2.3)$$

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 4.1.2.

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

Теоретический объем водяных паров (4.2.4):

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot (H_2S + H_2 + \sum 0,5 \cdot n \cdot C_m H_n + 0,124 \cdot d_{z.mл}) + 0,0161 \cdot V^0, \quad (4.2.4)$$

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

$$\begin{aligned} V_{H_2O}^0 &= 0,01 \cdot (0,5 \cdot (4 \cdot 98,24 + 6 \cdot 0,29 + 8 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,09) + 0,124 \cdot 10) + 0,016 \cdot 9,49 = \\ &= 2,0074 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3} \end{aligned}$$

4.2.2 Характеристики и энтальпии продуктов сгорания и воздуха

Энтальпия воздуха и продуктов сгорания 1 м^3 газообразного топлива определяется по сумме энтальпий газообразных продуктов сгорания, входящих в состав дымовых газов.

Действительное количество воздуха, поступающего в топку, отличается от теоретически необходимого в α раз, где α – коэффициент избытка воздуха. Коэффициент избытка воздуха для горелки ГМВАТ2-7,5 $\alpha = 1,05$, соответственно

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

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 $\Delta\alpha$ и расчетные коэффициенты избытка воздуха в газоходах α'' приведены в таблице 4.2.3.

Таблица 4.2.3 – Присосы воздуха по газоходу и расчетные коэффициенты избытка воздуха

Участки газового тракта	$\Delta\alpha$	α''
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 $V_{RO_2}^0$ от коэффициента избытка воздуха не зависит и во всех газоходах остается постоянным и равным теоретическому.

В таблице 4.2.4 представлен расчет продуктов сгорания в участках газохода.

Таблица 4.2.4 – Характеристика продуктов сгорания в поверхностях нагрева

Величина	Единица измерения	Участки газохода	
		Топка	Конвективный пучок
Коэффициент избытка воздуха	–	1,14	1,2
V_{RO_2}	$\text{м}^3/\text{м}^3$	0,9992	0,9992
$V_{N_2} = V_{N_2}^0 + (\alpha - 1) \cdot V^0$	$\text{м}^3/\text{м}^3$	8,979	9,6098
$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^0$	$\text{м}^3/\text{м}^3$	2,031	2,041
$V_{\Sigma} = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O}$	$\text{м}^3/\text{м}^3$	12,009	12,65
$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_{\Sigma}}$	–	0,0832	0,0789
$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{\Sigma}}$	–	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 (4.2.5):

$$I_z = I_z^0 + I_g^0 \cdot (\alpha^{cp} - 1) \quad (4.2.5)$$

где I_z^0, I_g^0 – теоретические энтальпии газов и воздуха, кДж/м^3 .

Теоретическая энтальпия газов определяется по формуле (4.2.6):

$$I_z^0 = (V_{\text{RO}_2} \cdot (c\vartheta)_{\text{RO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}^0 \cdot (c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{N}_2}^0 \cdot (c\vartheta)_{\text{N}_2}) \quad (4.2.6)$$

где $(c\vartheta)_{\text{RO}_2}, (c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}}, (c\vartheta)_{\text{N}_2}$ – теплоемкости трехатомных газов, водяных паров, азота, $\text{кДж/(м}^3\text{К)}$ [37].

Энтальпия воздуха при $t_{x.g} = \vartheta_g$ определяется по формуле (4.2.7):

$$I_g^0 = V^0 \cdot c_g \vartheta_g \quad (4.2.7)$$

где c_g – теплоемкость холодного воздуха при температуре $t_{x.g}$ и постоянном давлении равным атмосферному, $\text{кДж/(м}^3\text{К)}$ [37].

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:

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

Расчет энтальпий при различных температурах газов сводим в таблицу 4.2.5.

Таблица 4.2.5 – 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	377,8	–	–	–	–	–
100	1259,3	1450,4	1626,7	–	1702,2	–

Продолжение таблицы 4.2.5

1	2	3	4	5	6	7
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	–	–
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	–	–

4.2.3 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 .

На основании теплового баланса определяют расход топлива и вычисляют коэффициент полезного действия, эффективность работы котельного агрегата.

В котельном агрегате химически связанная энергия топлива в процессе горения преобразуется в физическую теплоту горючих продуктов сгорания. Эта теплота расходуется на выработку и перегрев пара или нагревания воды.

Расчет теплового баланса котла представлен в таблице 4.2.6.

Таблица 4.2.6 – 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	$Q_p^p + Q_{в.н} + i_{мл}$	кДж/м ³	36764,6 + 0 + 0 = 36764,6
Потеря теплоты от химической неполноты сгорания топлива	q_3	Табл. 4–3 [37]	%	0,5
Потеря теплоты от механической неполноты сгорания топлива	q_4	Табл. 4–3 [37]	%	0
Температура уходящих газов	t_{yx}	По выбору, табл. 1–3 [37]	°С	160
Энтальпия уходящих газов	I_{yx}	По I–v таблице	кДж/кг	3042
Температура воздуха в котельной	$t_{х.в.}$	По выбору	°С	30
Теоретическая энтальпия воздуха в котельной	$I_{х.в.}^0$	По I–v таблице	кДж/кг	385,3
Потеря теплоты с уходящими газами	q_2	$\frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} I_{х.в.}^0)(100 - q_4)}{Q_p^p}$	%	$\frac{(3042 - 1,14 \cdot 385,3) \cdot 100}{36764,5} = 6,99$
Потеря теплоты от наружного охлаждения	q_5	По рис. 3–1 [37]	%	1,9
Сумма тепловых потерь	Σq	$q_5 + q_4 + q_3 + q_2$	%	1,9 + 0 + 0,5 + 6,99 = 9,4
КПД котла	$\eta_{ка}$	100 - Σq	%	100 - 9,4 = 90,6

Продолжение таблицы 4.2.6

1	2	3	4	5
Коэффициент сохранения теплоты	φ	$1 - \frac{q_5}{\eta_{ка} + q_5}$	–	$1 - \frac{1,9}{90,6 + 1,9} = 0,98$
Температура воды на входе в котел	t'	По заданию	°С	70
Энтальпия воды на входе в котел	$I'_в$	$I' = t' \cdot C_p$	кДж/кг	$70 \cdot 4,19 = 294,6$
Температура воды на выходе из котла	t''	По техническим характеристикам котла	°С	150
Энтальпия воды на выходе из котла	$I''_в$	$I' = t'' \cdot C_p,$	кДж/кг	$150 \cdot 4,19 = 633,1$
Расход питательной воды через котел	G	Табл. 4.1.1	кг/с	102,8
Расход топлива на котел	B	$\frac{G_c \cdot c \cdot (t_1 - t_2)}{Q_p^H \cdot \eta}$	м ³ /с	$\frac{102,8 \cdot 4,19 \cdot (150 - 70)}{0,906 \cdot 36764} = 1,047$

4.2.4 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 топки сведем в таблицу 4.2.7.

Таблица 4.2.7 – 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 ²	126,9

Продолжение таблицы 4.2.7

1	2	3	4	5
Полная площадь стен топочной камеры	F_{cm}	По конструктивным характеристикам котла	м ²	137,2
Объем топочной камеры	V_m	По конструктивным характеристикам котла	м ²	81,5
Коэффициент загрязнения	ξ	[37, табл. 6.1]	–	0,65
Коэффициент тепловой эффективности экранов	ψ	$\xi \cdot \frac{H_l}{F_{cm}}$	–	$0,65 \cdot \frac{126,9}{137,2} = 0,67$
Эффективная толщина излучающего слоя	S	$3,6 \cdot \frac{V_m}{F_{cm}}$	м	$3,6 \cdot \frac{81,5}{137,2} = 2,138$
Полная высота топки	H_m	по конструктивным размерам	м	2,05
Высота расположения горелок	h_2	по конструктивным размерам	м	1,65
Относительный уровень расположения горелок	x_m	$\frac{h_2}{H_m}$	–	$\frac{1,65}{2,05} = 0,8$
Коэф. избытка воздуха на выходе из топки	α_m	[37, табл. 1–1]	–	1,14
Кол-во теплоты, вносимое в топку воздухом	Q_6	$I_{xв} \cdot \alpha_m$	кДж/ м ³	$385,3 \cdot 1,14 = 439,2$
Полезное тепловыделение топке	Q_m	$Q_p^p \cdot \frac{100 - q_3}{100}$	кДж/ м ³	$36764,5 \cdot \frac{100 - 0,5}{100} + 439,2 = 36601,47$
Адиабатическая температура горения	g_a	Принимается при Q_m по табл. 6	°С	1996,6
Температура газов на выходе из топки	g''_m	По выбору, табл. 5–3 [37]	°С	1050

Продолжение таблицы 4.2.7

1	2	3	4	5
Энтальпия газов на выходе из топки	I''_m	Табл. 1–4 [37]	кДж/м ³	19929,29
Средняя суммарная теплоемкость	$V_{ср}$	$\frac{Q_m - I''_m}{g_a - g''_m}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$\frac{36601,47 - 19929,29}{1996,6 - 1050} = 17,61$
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
Коэф. ослабления лучей трехатомными газами	k_2	[37, номограмма 2]	–	15
Коэффициент ослабления лучей для несветящихся трехатомных газов	$k_{нсв}$	$k_2 \cdot r_n$	$\frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$	$15 \cdot 0,262 = 3,93$
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	$k_{саж}$	$0,3(2 - \alpha_m) \cdot \left(1,6 \frac{g''_m}{1000} - 0,5\right) \cdot \frac{C^p}{H^p}$	–	$0,3(2 - 1,14) \cdot (1,6 \cdot 1,05 - 0,5) \cdot 3,03 = 0,922$

Окончание таблицы 4.2.7

1	2	3	4	5
Коэффициент ослабления лучей для светящегося газового пламени	$k_{св}$	$k_2 \cdot r_n + k_{саж}$	$\frac{1}{m \cdot \text{МПа}}$	$15 \cdot 0,262 + 0,922 = 4,852$
Степень черноты топочной среды для светящегося газового потока	$a_{св}$	$a_{св} = 1 - e^{-k_{св} \cdot p \cdot s}$	–	$1 - e^{-4,852 \cdot 0,12 \cdot 1,138} = 0,65$
Коэффициент заполнения топочного объема светящимися газами	m	Принимается [37]	–	0,1
Степень черноты факела	$a_{ф}$	$m \cdot a_{св} + (1 - m) \cdot a_{нсв}$	–	$0,1 \cdot 0,65 + (1 - 0,1) \cdot 0,57 = 0,307$
Степень черноты топки	a_m	$\frac{a_{ф}}{a_{ф} + (1 - a_{ф}) \cdot \psi_{ср}}$	–	$\frac{0,307}{0,307 + (1 - 0,307) \cdot 0,67} = 0,97$
Тепловая нагрузка стен топки	q_F	$\frac{B_p \cdot Q_m}{F_{см}}$	кВт/м ²	$\frac{1,047 \cdot 36601}{137,2} = 279$
Температура газов на выходе из топки	ν''_T	Рис. 5–8 [37]	°С	1090

Энтальпия газов на выходе из топки	I''_m	Табл. 1–4 [37]	кДж/м ³	20768,49
Общее тепловосприятие топки	$Q_m^л$	$\varphi \cdot (Q_T - I''_T)$	кДж/м ³	$0,98(36601,47 - 20768,49) = 15516,3$
Тепловая нагрузка лучевоспринимающей поверхности	$q_l^{ср}$	$B_p \cdot \frac{Q_l}{H_l}$	кВт/м ³	$1,047 \cdot \frac{15516,3}{126,9} = 128$

4.2.5 Расчет конвективного пучка

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

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

Тепловой расчет конвективного пучка представлен в таблице 4.2.8.

Таблица 4.2.8 – Тепловой расчет конвективного пучка

Величина	Обознач.	Формула или способ определения	Ед. изм.	Ответ
1	2	3	4	5
Полная площадь поверхности нагрева	H	По конструктивным размерам	м^2	592,6
Диаметр труб	d	По конструктивным размерам	мм	28
Средняя длина труб	l	По конструктивным размерам	мм	75
Поперечный шаг труб	s_1	По конструктивным размерам	мм	64
Продольный шаг труб	s_2	По конструктивным размерам	мм	40
Относительный поперечный шаг труб	s_1/d	По конструктивным размерам	–	$\frac{64}{28} = 2,29$
Относительный продольный шаг труб	s_2/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	$0,9 \cdot \left(\frac{4 \cdot 64 \cdot 40}{3,14 \cdot 28^2} - 1 \right) \cdot 28 = 0,08$
Температура газов перед конвективным пучком	ν'	ν''_m – из расчета топки	$^{\circ}\text{C}$	1090

Продолжение таблицы 4.2.8

1	2	3	4	5
Энтальпия газов перед конвективным пучком	I'	I''_m – из расчета топки	кДж/м ³	20768,49
Температура газов за конвективным пучком	ν''	По характеристикам котла	°С	160
Энтальпия газов за конвективным пучком	I''	По табл. 4.2.5	кДж/ м ³	2705,5
Количество теплоты, отданное конвективному пучку	Q_z	$\phi \cdot (I' - I'')$	кДж/ м ³	$0,98 \cdot (20768,49 - 2705,5) = 17701,4$
Средняя температура газов	ν_{cp}	$0,5 \cdot (\nu' + \nu'')$	°С	$0,5 \cdot (1090 + 160) = 625$
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	α_k	[37, 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	ψ	[37, табл. 7.1]	–	0,8
Температура загрязнения стенки трубы	t_{cm}	$t_{кип} + \Delta t$	°С	135
Коэффициент теплоотдачи излучением	α_l	[37, ном. 18]	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	11
Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	α_l	$\xi(\alpha_k + \alpha_l)$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	116,84

Окончание таблицы 4.2.8

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

1	2	3	4	5
Тепловосприятие конвективного пучка	ε_0	$\psi \cdot \alpha_1$	$\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	92
Средний температурный напор	Δt	Табл. 6–1 [2]	°С	353
Расхождение расчетных тепловосприятий	ΔQ	$\frac{Q_m - Q_z}{Q_m} \cdot 100$	%	0,8

4.2.6 Сводная таблица теплового расчета котла и расчетная невязка теплового баланса

В таблицу 4.2.9 сведены результаты теплового расчета котла.

Таблица 4.2.9 Тепловой баланс котла

Величина	Обозначение	Единица	Результат
1	2	3	4
Располагаемая теплота топлива	Q_p^p	кДж/м ³	36764,6
Температура уходящих газов	v_{yx}	°С	160
Потери теплоты с уходящими газами	q_2	%	6,99
КПД	η	%	90,6
Расход топлива на котел	B_p	м ³ /с	1,047
Топка			
Теплота, вносимая воздухом	Q_e	кДж/м ³	20,7
Полезное тепловыделение	Q_m	кДж/м ³	36601,47
Температура газов на выходе из топки	v''_m	°С	1090

Продолжение таблицы 4.2.9

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

1	2	3	4
Энтальпия газов на выходе из топки	I''_m	кДж/м ³	19929,29
Тепловосприятие	Q_l	кДж/м ³	15516,3
Конвективный пучок			
Температура газов на входе	v'	°С	1090
Температура газов на выходе	v''	°С	160
Энтальпия газов на входе	I'	кДж/м ³	20768,49
Энтальпия газов на выходе	I''	кДж/м ³	2705,5
Тепловосприятие	Q	кДж/м ³	17701,4

4.2.7 Невязка

Расчетная невязка теплового баланса (4.2.93):

$$\Delta Q = [Q_p^p \eta - (Q_l^m + Q_z^{kn})] \quad (4.2.93)$$

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

Невязка (4.2.94):

$$X = \frac{\Delta Q}{Q_p^p} \cdot 100\% \quad (4.2.94)$$

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

Расчетная невязка теплового баланса не превысила 0,5% – считаем расчет законченным. В результате теплового расчета определены температуры продуктов сгорания на выходе из топки и за каждой конвективной поверхностью нагрева.

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

4.2.8 Расчет фестона

Поверочный тепловой расчёт фестона сводится к определению количества тепла, воспринимаемого фестонем. Количество теплоты, воспринимаемое фестонем, 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 фестонем. Температура газов за фестонем принимается с последующей проверкой и уточнением ее. Кроме этого, она должна быть увязана с условиями обеспечения надежной работы пароперегревателя. Согласно [38] охлаждение дымовых газов в фестоне $\Delta \mathcal{G} = \mathcal{G}'_f - \mathcal{G}''_f$ можно предварительно принять для однорядных фестонов ($z_2=1$) $7-10$ °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.

Температура обогреваемой среды постоянна и равна температуре кипения при давлении в барабане котла, температурный напор определяется по формуле:

$\Delta t = \mathcal{G}_{cp} - t_n$, где $\mathcal{G}_{cp} = 0,5(\mathcal{G}'_f + \mathcal{G}''_f)$ – средняя температура газов в фестоне, °С;
 t_n – температура кипения при давлении в барабане.

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

Геометрические параметры фестона:

Геометрические параметры фестона принимаются по паспортным данным котла:

- 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 $F_\phi = 126.9$ м²;
- живое сечение для прохода газов $f = 42.3$ м².

Расчёт энтальпии дымовых газов на выходе из фестона:

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

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

$$g'_\phi = g''_m = 1050 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

Температуру дымовых газов за фестоном определяем по формуле (4.2.95):

$$g''_\phi = g'_\phi - \Delta g_\phi \quad (4.2.95)$$

$$g''_\phi = 1050 - 70 = 980 \text{ }^\circ\text{C}$$

где принимаем $\Delta g_\phi = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ – охлаждение газов в фестоне.

Энтальпия дымовых газов на выходе из фестона:

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

Расчёт теплоты, воспринимаемой фестоном, по уравнению теплового баланса (4.2.96):

$$Q_\phi = Q_{б.\phi} + Q_{л.\phi} \quad (4.2.96)$$

1) Теплота, отданная газами $Q_{б.\phi}$, кДж/кг, рассчитывается по формуле (5.5) [38] по (уравнению теплового баланса) (4.2.97):

$$Q_{б.\phi} = \phi (H'_\phi - H''_\phi + \Delta\alpha H^0_{прис}) \quad (4.2.97)$$

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

H'_ϕ, H''_ϕ – энтальпия газов соответственно на входе в фестон и на выходе из фестона, кДж/кг;

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

$H^0_{прис}$ – энтальпия присасываемого воздуха, кДж/кг.

$$Q_{б.\phi} = 0,99(19929,3 - 18991,6) = 937,7 \text{ кДж/кг}$$

2) Теплота $Q_{л.\phi}$, кДж/кг, определена ранее (таб. 4.2.7), $Q_{л.\phi} = 1424,86 \text{ кДж/кг}$. Тепло, полученное фестоном излучением из топки:

$$Q_{л.\phi} = 0,74 \cdot 1424,86 = 1054,4 \text{ кДж/кг}$$

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

$$Q_{\phi} = 1054,4 + 937,7 = 1992,1 \text{ кДж/кг}$$

Расчёт теплоты, воспринимаемой фестоном, теплопередачей:

Количество тепла Q_T , кДж/кг, передаваемое фестону по условию теплопередачи определяем по формуле (4.2.98):

$$Q_T = \frac{F_{\phi} \cdot K \cdot \Delta t}{10^3 \cdot B_p} \quad (4.2.98)$$

где F – расчетная теплообменная поверхность фестона, м^2 ;

K – коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$;

Δt – усредненный по всей теплообменной поверхности температурный напор, $^{\circ}\text{C}$;

B_p – расчетный расход топлива, кг/с .

1) Усредненный температурный напор определяем по рекомендациям, изложенным в [38] (см. стр. 148), при неизменной температуре одной из сред. Температуру пароводяной смеси в фестоне определяем по табл. XXIII [38] как температуру насыщения при давлении в барабане котла $p_{\text{бар}} = 11 \text{ МПа}$, $t_{\phi} = 313,86$ $^{\circ}\text{C}$.

Большая разность температур определяется по формуле (4.2.99):

$$\Delta t_{\delta} = \mathcal{G}_{\phi}^{\prime} - t_{\phi} \quad (4.2.99)$$

$$\Delta t_{\delta} = 1050 - 313,86 = 736,14^{\circ}\text{C}$$

Меньшая разность температур определяется по формуле (4.2.100):

$$\Delta t_{\text{м}} = \mathcal{G}_{\phi}^{\prime\prime} - t_{\phi} \quad (4.2.100)$$

$$\Delta t_{\text{м}} = 980 - 313,86 = 666,14^{\circ}\text{C}$$

Усредненный температурный, который определяется температурными напорами в начале канала и на выходе из канала, противоточная схема является наиболее эффективной по сравнению с другими схемами, находим по формуле (6.47) [37] (4.2.101):

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{2,31 \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}} \quad (4.2.101)$$

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

$$\Delta t = \frac{736,14 - 666,14}{2,31 \lg \frac{736,14}{666,14}} = 698,30^\circ \text{C}$$

2) Расчетную скорость W_Γ м/с, газов в фестоне определяем по формуле (6.7) [38] (4.2.102):

$$W_\Gamma = \frac{B_p \cdot V_\Gamma (\vartheta_{cp} + 273)}{273 \cdot f} \quad (4.2.102)$$

где V_Γ – полный объем газов при сжигании 1 кг топлива при 0,1 МПа и 0 °С, определяемый по среднему избытку воздуха в газоходе, м³/кг,

ϑ_{cp} – средняя температура дымовых газов в газоходе, °С;

f – живое сечение фестона (сечение для прохода газов), м².

Среднюю температуру дымовых газов в газоходе находим по формуле (4.2.103):

$$\vartheta_{cp} = \frac{\vartheta'_\phi + \vartheta''_\phi}{2} \quad (4.2.103)$$

$$\vartheta_{cp} = \frac{1050 + 980}{2} = 1015^\circ \text{C}$$

$$W_\Gamma = \frac{1,022 \cdot 10,51 \cdot (1015 + 273)}{273 \cdot 42,3} = 5,46 \text{ м/с}$$

3) Коэффициент теплопередачи K , Вт/(м²·К), определяем по следующей формуле (см. табл. 6.1 [37]) (4.2.104):

$$K = \psi \cdot \alpha_1 \quad (4.2.104)$$

где ψ – коэффициент тепловой эффективности, принимается по табл. 6.4 [37];

α_1 – коэффициент теплоотдачи от газов к стенке, Вт/(м²·К).

4) α_1 определяется по формуле (6.5) [37] (4.2.105):

$$\alpha_1 = \xi (\alpha_\kappa + \alpha_\lambda) \quad (4.2.105)$$

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

$\alpha_\kappa = 105,84$ – коэффициент теплоотдачи конвекций от газов к поверхности нагрева, Вт/(м²·К);

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

$\alpha_{\text{л}} = 11$ – коэффициент теплоотдачи излучением продуктов сгорания, Вт/(м²·К).

$$\alpha_1 = 105,84 + 11 = 116,84$$

$$K = 0,67 \cdot 116,84 = 78,28$$

Количество тепла, передаваемое фестону по условию теплопередачи определяем по формуле (4.2.106):

$$Q_{\text{T}} = \frac{F_{\phi} \cdot K \cdot \Delta t}{10^3 \cdot B_p} \quad (4.2.106)$$

$$Q_{\text{T}} = \frac{126,9 \cdot 78,28 \cdot 698,30}{10^3 \cdot 1,047} = 2040,012 \text{ кДж/кг}$$

Невязка баланса теплот для фестона рассчитывается по формуле (4.2.107):

$$|\Delta Q_{\phi}| = \frac{|Q_{\text{T}} - Q_{\phi}|}{Q_{\phi}} \cdot 100 \% \quad (4.2.107)$$

$$|\Delta Q_{\phi}| = \frac{|2040,012 - 1992,1|}{1992,1} \cdot 100 \% = 2,4 \%$$

Невязка теплового баланса для фестона не превышает значения ± 5 %, расчет фестона считается законченным.

4.3 Аэродинамический расчет

Аэродинамический расчет газо-воздушного тракта котла выполняется с целью определения аэродинамических сопротивлений всех элементов установки и выбора необходимого тягодутьевого оборудования. Газо-воздушный тракт включает в себя: воздуховоды, газоходы, вентиляторы, дымососы, котельные агрегаты и дымовые трубы. Газо-воздушный тракт делят на участки, которые создают сопротивление и рассчитывают каждый участок.

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

Площади поперечного сечения воздуховода для двух характерных значений скоростей движения воздуха $w_g = 8$ и $w_g = 12$ м/с рассчитывается по формуле (4.3.1):

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$f_{(w)} = \frac{V^0 \cdot B_p \cdot (t_g + 273)}{w_g \cdot 273} \quad (4.3.1)$$

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

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

Прямоугольные каналы из листовой стали 800x1200 толщиной $\delta = 0,7$ мм, площадь поперечного сечения $f = 0,96 \text{ м}^2$.

Действительная скорость движения воздуха в воздуховодах определяется по формуле (4.3.2):

$$w_{д.в.} = \frac{V^0 \cdot B_p \cdot (t_g + 273)}{f \cdot 273} \quad (4.3.2)$$

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

Сопротивление трения в воздуховоде (4.3.3):

$$\Delta h_{тр} = \lambda \cdot \frac{l}{d_э} \cdot h_д \quad (4.3.3)$$

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

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

$h_д$ – динамический напор, определяемый по скорости воздуха $w_{д.в.} = 11,21$ м/с и температуре $t_g = 22,8^\circ\text{С}$, $h_д = 70$ Па [25, рис.3];

$d_э$ – эквивалентный диаметр, определяется по формуле (4.3.4):

$$d_э = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}, \quad (4.3.4)$$

где a и b – размеры сторон прямоугольного сечения, м

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

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

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

Местные сопротивления воздуховода (4.3.5):

$$\Delta h_m = \sum \xi \cdot h_0 \quad (4.3.5)$$

где $\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений;

Сумма всех сопротивлений определяется по формуле (4.3.6):

$$\sum \xi = \xi_{вх} + \xi_{нат} + \xi_{нов} + \xi_{диф} \quad (4.3.6)$$

где $\xi_{вх}$ – коэффициент сопротивления на входе в канал, $\xi_{вх} = 0,5$;

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

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

$\xi_{диф.}$ – коэффициент сопротивления диффузоров (4.3.7):

$$\xi_{диф.} = \phi_p \cdot \xi_{вблх} \quad (4.3.7)$$

где ϕ_p – коэффициент расширения, определяется в зависимости от угла раскрытия диффузора $\alpha = 35^\circ$, $\phi_p = 1$ [52, Рис. П. 2.5.];

$\xi_{вблх}$ – коэффициент сопротивления, соответствующий резкому увеличению сечения, определяется по отношению меньшего к большему сечению канала $F_m / F_6 = 0,219$, $\xi_{вблх} = 0,7$ [52, рис. П. 2.4.].

$$\xi_{диф.} = 1 \cdot 0,7 = 0,7$$

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

$$\Delta h_m = 5,4 \cdot 70 = 378 \text{ Па}$$

Сопротивление воздуховода холодного воздуха (4.3.8):

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Delta h_g = \Delta h_m + \Delta h_{mp} \quad (4.3.8)$$

$$\Delta h_g = 378 + 66 = 444 \text{ Па}$$

Суммарное сопротивление воздушного тракта (4.3.9):

$$\Delta H_g = \Delta h_g + \Delta h_{mp} + \Delta h_m \quad (4.3.9)$$

$$\Delta H_g = 444 + 66 + 378 = 888 \text{ Па}$$

Перепад полных давлений по тракту (4.3.10):

$$\Delta H_n = \Delta H_g - h'_m \quad (4.3.10)$$

где h'_m – разряжение в топке на уровне воздуха, $h'_m = 28 \text{ Па}$

$$\Delta H_n = 888 - 28 = 860 \text{ Па}$$

4.3.1 Выбор вентилятора

Производительность вентилятора (4.3.11):

$$Q_p = \beta_{np} \cdot B_p \cdot V^0 \cdot (\alpha_m - \Delta\alpha_m + \Delta\alpha_{en}) \cdot \frac{t_{xg} + 273}{273} \quad (4.3.11)$$

где α_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, $\Delta\alpha_{en} = 1,29$;

β_{np} – коэффициент запаса по производительности, $\beta_{np} = 1,1$ [25];

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

Для обеспечения надежной работы котельной установки на один котел устанавливают 2 вентилятора. Производительность одного вентилятора (4.3.12):

$$Q_g = \frac{Q_p}{2} \quad (4.3.12)$$

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

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

Полное давление, которое должен развивать вентилятор (4.3.13):

$$H_g = \beta_2 \cdot \Delta H_n \quad (4.3.13)$$

$$H_g = 1,1 \cdot 888 = 976,8 \text{ Па}$$

где β_2 – коэффициент запаса по давлению, $\beta_2 = 1,1$.

Вентилятор ВДН-9у:

– производительность $P = 2,64 \text{ м}^3/\text{с}$,

– напор при $H = 1220 \text{ Па}$,

– мощность электродвигателя $N = 11 \text{ кВт}$.

4.3.2 Аэродинамический расчет газового тракта котла

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

Сопrotивление экономайзера (4.3.14):

$$\Delta h_{\text{эк}} = \Delta h_{\text{сп}} \cdot C_s \cdot C_d \cdot (z_2 + 1) \quad (4.3.14)$$

где $\Delta h_{\text{сп}}$ – сопротивление одного ряда труб шахматных пучков определяемый по скорости газа в экономайзере $w = 4,82 \text{ м/с}$, температуре $t_{2,8} = 495^\circ \text{C}$, диаметре труб экономайзера $d = 28 \text{ мм}$ с поперечным и продольным шагом $S_1 = 40$ и $S_2 = 64 \text{ мм}$, $\Delta h_{\text{сп}} = 3,5 \text{ Па}$ [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];

$z = 33$ – 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 трения в трубах воздухоподогревателя (4.3.27):

$$\Delta h_{\text{тр}} = C_{\text{ш}} \cdot \Delta h'_{\text{сп}} \cdot h_{\text{вн}} \quad (4.3.27)$$

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

где $C_{ин}$ – поправка на внутренний диаметр трубок при скорости газа в воздухоподогревателе $w = 2,8 \text{ м/с}$ и температуре $t_{г.в} = 224^\circ\text{C}$ диаметре труб воздухоподогревателя $d = 35 \text{ мм}$ $C_{ин} = 1,1$ [25, рис.8];

$\Delta h'_{зп}$ – потеря давления в трубах трубчатых воздухоподогревателей $\Delta h'_{зп} = 10 \text{ Па}$ [25, рис.8];

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

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

Сопротивление, вызванное изменением скоростей газов при входе и выходе из воздухоподогревателя рассчитывается по следующей формуле (4.3.28):

$$\Delta h_{изм} = m \cdot (\xi_{вх} - \xi_{вых}) \cdot h_{\delta}, \quad (4.3.28)$$

где h_{δ} – динамический напор, определяемый по скорости газа в воздухоподогревателе $w = 2,8 \text{ м/с}$ и температуре $t_{г.в} = 224^\circ\text{C}$, $h_{\delta} = 6 \text{ Па}$ [25, рис.3];

$\xi_{вых}$ – коэффициент сопротивления выхода из воздухоподогревателя, определяется по отношению меньшего к большему сечению канала $F_m / F_0 = 0,41$ $\xi_{вых} = 0,41$ [25, рис.9];

$\xi_{вх}$ – коэффициент сопротивления входа в воздухоподогреватель, определяется по отношению меньшего к большему сечению канала $F_m / F_0 = 0,41$,

$\xi_{вых} = 0,33$ [25, рис.9];

$m = 5$ – число ходов воздухоподогревателя.

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

4. Суммарное сопротивление воздухоподогревателя (4.3.29):

$$\Delta h_{ен} = \Delta h_{изм} + \Delta h_{тр} \quad (4.3.29)$$

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

Для расчета сопротивления газохода необходимы данные из теплового расчета:

- температура газов на выходе из воздухоподогревателя $t_2 = 160^\circ\text{C}$,
- объем газов на выходе из воздухоподогревателя $V_2 = 14,49 \text{ м}^3/\text{м}^3$,
- размер поперечного сечения газохода $a \times b$ $3,25 \times 2,280 \text{ м}$.

Площадь поперечного сечения газохода (4.3.30):

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

$$f_2 = a \cdot b \quad (4.3.30)$$

$$f_2 = 3,25 \cdot 2,28 = 8,03 \text{ м}^2$$

Скорость движения газов (4.3.31):

$$w_2 = \frac{V_2 \cdot B_p \cdot (t_{21} + 273)}{f_2 \cdot 273} \quad (4.3.31)$$

$$w_2 = \frac{13,86 \cdot 0,531 \cdot (140 + 273)}{3,75 \cdot 273} = 2,69 \text{ м/с}$$

Сопротивление трения в газоходе (4.3.32):

$$\Delta h_{mp} = \lambda \cdot \frac{l}{d_3} \cdot h_0 \quad (4.3.32)$$

где λ – коэффициент сопротивления трения (для металлических каналов $\lambda = 0,02$);
 l – длина воздухоподогревателя до дымовой трубы, $l = 32,23$ м;
 h_0 – динамический напор, определяемый по скорости $w_2 = 7,4$ м/с и температуре газа $t_2 = 140^\circ \text{С}$, $h_0 = 33$ Па [25, рис.3];
 d_3 – эквивалентный диаметр, определяется по формуле (4.3.33):

$$d_3 = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b} \quad (4.3.33)$$

$$d_3 = \frac{2 \cdot 1,645 \cdot 2,28}{1,645 + 2,28} = 1,91 \text{ м}$$

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

Сопротивление трения в дымовой трубе (4.3.34):

$$\Delta h_{\Delta.mp} = \lambda_H \cdot \frac{H}{d_{mp}} \cdot \frac{w_H^2}{2} \cdot \rho_2 \quad (4.3.34)$$

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

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

H – высота дымовой труб, $H = 45$ м,

d_{mp} – диаметр дымовой трубы, $d_{mp} = 3$ м,

w_H^2 – скорость газов в дымовой трубе $w_H^2 = 8$ м/с,

ρ_2 – плотность газов определяется по формуле (4.3.35):

$$\rho_2 = \frac{353}{t_2 + 273} \quad (4.3.35)$$

$$\rho_2 = \frac{353}{140 + 273} = 0,854 \text{ кг/м}^3$$

$$\Delta h_{\partial.mp} = 0,05 \cdot \frac{45}{3} \cdot \frac{8^2}{2} \cdot 0,854 = 20,49 \text{ Па}$$

Местные сопротивления газохода (4.3.36):

$$\Delta h_m = \sum \xi \cdot h_{\partial} \quad (4.3.36)$$

где $\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений.

Сумма коэффициентов местных сопротивлений (4.3.37):

$$\sum \xi = \xi_{ex} + \xi_{\partial.mp} + \xi_{пов} + \xi_{ш} \quad (4.3.37)$$

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

$\xi_{\partial.mp}$ – коэффициент сопротивления на входе в дымовую трубу, $\xi_{ex} = 0,7$ [52];

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

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

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

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

5. Сопротивление газохода (4.3.38):

$$\Delta h_2 = \Delta h_m + \Delta h_{mp} + \Delta h_{\partial.mp} \quad (4.3.38)$$

$$\Delta h_2 = 308 + 23,6 + 20,49 = 352,09 \text{ Па}$$

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Суммарное сопротивление газового тракта (4.3.39):

$$\Delta H_{\delta} = \Delta h_{\text{эк}} + \Delta h_{\text{вн}} + \Delta h_2 \quad (4.3.39)$$

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

Перепад полных давлений по тракту (4.3.40):

$$\Delta H_n = \Delta H_{\delta} + h'_m \quad (4.3.40)$$

где h'_m – разряжение на выходе из топки, $h'_m = 20 \text{ Па}$ [25].

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

4.3.2 Выбор дымососа

Производительность дымососа (4.3.41):

$$Q_p = \beta_{np} \cdot B_p \cdot (V_2 + \Delta\alpha \cdot V^0) \cdot \frac{t_{xg} + 273}{273} \quad (4.3.41)$$

где α_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, $\Delta\alpha = 0,02$;

β_{np} – коэффициент запаса по производительности, $\beta_{np} = 1,1$ [25].

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

Для обеспечения надежной работы котельной установки на один котел устанавливают 2 дымососа.

Производительность одного дымососа (4.3.42):

$$Q_{\delta} = \frac{Q_p}{2} \quad (4.3.42)$$

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

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

Полное давление, которое должен развивать вентилятор (4.3.43):

$$H_g = \beta_2 \cdot \Delta H_n \quad (4.3.43)$$

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

где β_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 $N = 75 \text{ кВт}$;
- потребляемая мощность $N = 40 \text{ кВт}$;
- КПД $\eta = 84\%$.

4.4 Расчет горелочных устройств котла

Для технического перевооружения котла ПТВМ-30 выбраны горелочные устройства ГМВАТ2-7,5. Горелка ГМВАТ2-7,5 вихревая газовая используется в котлах, печах, сушилках. Горелка ГМВАТ2-7,5 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. Для стабилизации факела горелка оборудуется насадком. 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].

В таблице 4.4 приведены основные характеристики горелки ГМВАТ2-7,5.

Таблица 4.4 – Технические характеристики горелки ГМВАТ2-7,5 [54]

Техническая характеристика	Значение
1	2
Номинальная тепловая мощность, МВт	7
Номинальное давление газа, кПа	

– низкое	2
– среднее	30
Расход газа, м ³ /час	650
Давление воздуха, кПа	1,6
Коэффициент избытка воздуха	1,05
Масса, (не более, кг)	87

Расход воздуха на горелку (4.3.1):

$$G_g = \alpha \cdot V^0 \cdot B \quad (4.3.1)$$

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

V^0 – теоретически необходимое количество воздуха, $V^0 = 9,64$ м³ газа/м³ топлива;

B – расход газа на одну горелку из теплового расчета $B = 0,177$ м³/с.

$$G_g = 1,05 \cdot 9,64 \cdot 0,177 = 1,79 \text{ м}^3/\text{с}$$

Площадь сечения для прохода воздуха (4.3.2):

$$F_g = \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_2^2) \quad (4.3.2)$$

где D_1 – диаметр корпуса горелки в месте прохода воздуха, $D_1 = 0,382$ м;

D_2 – диаметр центрального газового коллектора, либо трубы для установки форсунки, $D_2 = 0,19$ м [42].

$$F_g = \frac{\pi}{4} \cdot (0,382^2 - 0,19^2) = 0,086 \text{ м}^2$$

Площадь сечения для прохода газа (4.3.3):

$$F_z = n \cdot \frac{\pi \cdot d_{омг}^2}{4} \quad (4.3.3)$$

где n – число газоразрядных отверстий, $n = 12$ шт;

$d_{омг}$ – диаметр газоразрядных отверстий, $d_{омг} = 0,018$ м [42].

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

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

Скорость истечения воздуха с учетом температурной поправки (4.3.4):

$$w_B = \frac{G_B \cdot \frac{273 + t_B}{273}}{F_B} \quad (4.3.4)$$

$$w_g = \frac{1,79 \cdot \frac{273 + 300}{273}}{0,08} = 43,6 \text{ м/с}$$

Скорость истечения газа с учетом температурной поправки (4.3.5):

$$w_z = \frac{B \cdot \frac{273 + t_z}{273}}{F_z} \quad (4.3.5)$$

$$w_z = \frac{0,177 \cdot \frac{273 + 20}{273}}{0,003} = 62,2 \text{ м/с}$$

где t_z и t_g – температура воздуха и газа соответственно, $t_r = 20^\circ \text{ C}$, $t_B = 300^\circ \text{ C}$.

Необходимое давление воздуха перед горелкой (4.3.6):

$$p_g = \xi_g \cdot \frac{\rho_g w_g^2}{2} \quad (4.3.6)$$

Необходимое давление газа перед горелкой (4.3.7):

$$p_z = \xi_z \cdot \frac{\rho_z w_z^2}{2} \quad (4.3.7)$$

где ξ – коэффициент сопротивления по газовому и воздушному тракту; $\xi_B = 1,0$, $\xi_z = 1,5$;

ρ_g и ρ_z – плотность воздуха и газа соответственно.

Плотность газа при нормальных условиях (4.3.8):

$$\rho_{z.n.y.} = \sum r_i \rho_i = \frac{CH_4}{100} \cdot \frac{16}{22,4} + \frac{C_2H_6}{100} \cdot \frac{30}{22,4} + \frac{C_3H_8}{100} \cdot \frac{44}{22,4} + \frac{C_4H_{10}}{100} \cdot \frac{58}{22,4} + \frac{C_5H_{12}}{100} \cdot \frac{72}{22,4} + \frac{N_2}{100} \cdot \frac{28}{22,4} + \frac{H_2}{100} \cdot \frac{2}{22,4} \quad (4.3.8)$$

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

$$\rho_{г.н.у.} = \frac{94,2}{100} \cdot \frac{16}{22,4} + \frac{2,8}{100} \cdot \frac{30}{22,4} + \frac{0,4}{100} \cdot \frac{44}{22,4} + \frac{0,2}{100} \cdot \frac{58}{22,4} + \frac{0,1}{100} \cdot \frac{72}{22,4} + \frac{2,6}{100} \cdot \frac{28}{22,4} = 0,755 \text{ кг/м}^3$$

Плотность газа действительная (4.3.9):

$$\rho_г = \rho_{г.н.у.} \cdot \frac{273}{t_г + 273} \quad (4.3.9)$$

$$\rho_г = 0,755 \cdot \frac{273}{20 + 273} = 0,7 \text{ кг/м}^3$$

Плотность воздуха действительная (4.3.10):

$$\rho_в = \rho_{в.н.у.} \cdot \frac{273}{t_в + 273} \quad (4.3.10)$$

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

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

Глубина проникновения газовых струй в поток воздуха (4.3.11):

$$h = d \cdot k \cdot k_\beta \frac{w_\Gamma}{w_B} \sqrt{\frac{\rho_\Gamma}{\rho_B}} \quad (4.3.11)$$

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].

$$h = 0,382 \cdot 1 \cdot 1,4 \frac{62,2}{43,6} \sqrt{\frac{0,7}{0,61}} = 2,14 \text{ м}$$

Диаметр расширившейся струи (4.3.12):

$$D = 0,75 \cdot h \quad (4.3.12)$$

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

$$D = 0,75 \cdot 2,14 = 1,6 \text{ м}$$

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

5 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Эффективное использование энергетических ресурсов в странах с развитой экономикой стало основным направлением государственной энергетической политики. Энергосбережение в современных условиях является одним из основных факторов при выборе оборудования и схемы котельной. Основным критерием энергосбережения является снижение затрат энергетических ресурсов котельной при ее эксплуатации. Пути для снижения затрат энергетических ресурсов являются:

- автоматизированное погодозависимое регулирование выработки и отпуска тепловой энергии. Обеспечивает оптимизацию затрат на выработку тепловой энергии и экономию топлива на 12-15% от котельных без погодозависимого регулирования;

- применение автоматизированных горелок, обеспечивающих КПД котлоагрегатов, не ниже 90%. Современные горелки и котлы имеют КПД = 91-94%, против устаревших котлоагрегатов без автоматизации, имеющих КПД = 75-80%. Наиболее передовое решение - использование "конденсационных" котлов КПД которых достигает 98%;

- применение частотных приводов и устройств плавного пуска на электродвигателях. Это позволяет снизить расход электроэнергии на 25-30%, а также продлить срок эксплуатации двигателя на 15%. Применение плавного пуска позволяет защитить оборудование и трубопроводы от гидроударов;

- применение современных автоматизированных установок подготовки воды позволяет снизить размер отложений в котлах и трубопроводах, и соответственно улучшить теплосъем и теплопередачу. Данные решения позволяют добиться экономии потребления топлива котлоагрегатами на 5-7%;

- перевод котельных агрегатов с твердого топлива на газообразное позволяет экономить до 12% сжигаемого топлива;

- работа по режимной карте, температурному графику, с наименьшим коэффициентом избытка воздуха;

- снижение температуры уходящих топочных газов за счет установки хвостовых утилизационных поверхностей нагрева (экономайзера, воздухоподогревателя, контактного теплообменника). Утилизация теплоты уходящих газов позволяет экономить до 15% топлива;

- снижение присосов в топку и газоходы котельных агрегатов за счет плотной и качественной обмуровки. Снижение присоса воздуха на 0,1 позволяет экономить до 0,5% сжигаемого топлива и до 20% электроэнергии на привод дымососа за счет снижения объема уходящих топочных газов;

- установка обдувочных аппаратов для очистки внешних поверхностей нагрева кипяточного пучка или конвективных поверхностей нагрева котельных агрегатов от летучей золы и сажистых отложений позволяет экономить до 1,5% сжигаемого топлива;

- снижение накипи с внутренней поверхности нагрева радиационных и конвективных труб достигается умягчением питательной воды. Устранение

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

накипи осуществляется и при ремонте котла - химическим способом или щелочной промывкой, в процессе последовательного разрыхления накипи, промывкой водой от шлама и механической очисткой. Наличие каждого миллиметра накипи вызывает перерасход топлива до 2% в зависимости от качества котловой и питательной воды;

– проведение режимно-наладочных испытаний котельных агрегатов, выбор оптимальных режимов работы основного и вспомогательного оборудования, составление режимной карты для обслуживающего персонала, разработка рекомендаций, направленных на повышение экономичности работы котельной установки позволяет экономить топливо в размере 3,5%;

– создание и широкое внедрение комплекса технологического оборудования на модульной основе для нового строительства и перевода существующих источников теплоснабжения на когенерационную основу;

– совершенствование технологий промышленного производства теплопроводов для теплоснабжения с предварительно нанесенным антикоррозийным покрытием, тепло-, гидроизоляция и дистанционной диагностикой состояния, регулирующих и запорных устройств с автоматическим приводом и монтажа из них тепловых сетей.

Регулирует отношения по энергосбережению и повышению энергетической эффективности Федеральный закон от 23.11.2009 №261 – ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Целью Федерального закона является создание правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения, и повышения энергетической эффективности. Действие настоящего Федерального закона распространяется на деятельность, связанную с использованием топливно-энергетических ресурсов.

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 Федеральным законом 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.
5. Использование энергетических ресурсов с учетом ресурсных, производственно-технологических, экологических и социальных условий [6].

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В 2008 году мировое потребление энергии составило 15,7 млрд. т.у.т. В структуре мирового потребления топливно-энергетических ресурсов доминирующую роль играет органическое топливо: нефть 31%, уголь 26% и газ 24%. Структура потребления топливно-энергетических ресурсов России существенно отличается от общемировой. Для нее характерны значительно меньшая доля нефти и угля и существенно большая доля потребления природного газа [53].

Стратегическими целями развития теплоснабжения согласно [16] являются:

- кардинальное повышение технического уровня систем теплоснабжения на основе инновационных, высокоэффективных технологий и оборудования;
- сокращение непроизводительных потерь тепла и расходов топлива;
- обеспечение управляемости, надежности, безопасности и экономичности теплоснабжения;
- снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Для достижения стратегических целей развития отрасли необходимо решение следующих основных задач:

- предпочтительное развитие теплоснабжения России и ее регионов на базе теплофикации с использованием современных энергетически, экономически и экологически эффективных когенерационных установок широкого диапазона мощности;
- распространение сферы теплофикации на базе паротурбинных, газотурбинных, газопоршневых и дизельных установок на область средних и малых тепловых нагрузок;
- оптимальное сочетание централизованного и децентрализованного теплоснабжения с выделением соответствующих зон;
- максимальное использование возможностей геотермальной энергетики для обеспечения теплоснабжения изолированных регионов, богатых геотермальными источниками (Камчатка, Сахалин, Курильские острова);
- развитие систем "централизованно-распределенной" генерации с разными типами источников, расположенными в районах теплоснабжения;
- модернизация и развитие систем децентрализованного теплоснабжения с применением высокоэффективных конденсационных газовых и угольных котлов, когенерационных, геотермальных, теплонасосных и других установок, а также автоматизированных индивидуальных теплогенераторов нового поколения для сжигания разных видов топлива;
- совершенствование режимов эксплуатации ТЭЦ с целью максимального сокращения выработки электрической энергии по конденсационному циклу, вынос ее выработки по условиям экономичности на загородные тепловые станции;
- изменение структуры систем теплоснабжения, включая рациональное сочетание системного и элементного резервирования, оснащение автоматикой и измерительными приборами в рамках автоматизированных систем

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

диспетчерского управления нормальными и аварийными режимами их эксплуатации, переход на независимую схему подключения нагрузки отопления (вентиляции и кондиционирования) и закрытую систему горячего водоснабжения;

– совместная работа источников тепла на общие тепловые сети с оптимизацией режимов их функционирования;

– реконструкция действующих ТЭЦ, котельных, тепловых сетей и тепловых энергоустановок, проведение теплогидравлической наладки режимов, повышение качества строительно-монтажных и ремонтных работ, своевременное выполнение регламентных мероприятий, оснащение потребителей стационарными и передвижными установками теплоснабжения в качестве резервных и/или аварийных источников теплоснабжения;

– разработка нормативно-правовой базы, обеспечивающей эффективное взаимодействие производителей тепла, организаций, осуществляющих его транспортировку и распределение, а также потребителей в рыночных условиях функционирования отрасли.

В результате будет достигнуто 2-3-кратное снижение удельных потерь тепла (с 19% в настоящее время до 8-10% к концу третьего этапа реализации Стратегии-2030), что обеспечит экономию топлива в размерах не менее 40 млн.т у.т. к 2030 г. [16].

5.1 Расчет экономии топлива, полученной в результате замены горелочных устройств

В бакалаврской работе повышение энергетической эффективности и энергосбережение котельного агрегата ПТВМ-30 в районной котельной города Копейска осуществляется за счет замены существующих горелочных устройств на новые вихревые газовые горелки ГМВАТ2-7,5.

В качестве новых горелок были выбраны газовые вихревые горелки. Газовые вихревые горелки ГМВАТ2-7,5 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.

Коэффициент полезного действия котла ПТВМ-30, работающего при существующих горелках $\eta_{ка} = 92,32\%$, а после установки горелок ГМВАТ2-7,5 – $\eta_{ка} = 93,36\%$.

Расход топлива до повышения КПД составлял $B_1 = 1,112 \text{ м}^3/\text{с}$, а рассчитанный после повышения КПД – $B_2 = 1,101 \text{ м}^3/\text{с}$.

Экономия топлива при повышении КПД, определяется по формуле (5.1):

$$\Delta B = \frac{G \cdot (h_{нг} - h_{нв})}{Q_n^p} \cdot \left(\frac{1}{\eta_2} - \frac{1}{\eta_1} \right), \quad (5.1)$$

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

где G – расход воды $G = 370 \text{ т/ч} = 102,78 \text{ кг/с}$;

$h_{нв}$ – энтальпия нагретой воды $h_{нв} = 632,2 \text{ кДж/кг}$;

$h_{пв}$ – энтальпия питательной воды $h_{пв} = 293,3 \text{ кДж/кг}$;

Q_n^p – низшая рабочая теплота сгорания $Q_n^p = 36764 \text{ кДж/м}^3$.

$$\Delta B = \frac{102,78 \cdot (632,2 - 293,3)}{36764} \cdot \left(\frac{1}{0,9232} - \frac{1}{0,9336} \right) = 0,0114 \text{ м}^3/\text{с}$$

Экономия топлива в год составит $359,510 \text{ тыс.м}^3/\text{с}$.

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

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 CO_2 , водяные пары H_2O , азот N_2 , окислы серы SO_2 (сернистый ангидрид), SO_3 (серный ангидрид) и зола. Из них к числу токсичных относятся окислы серы SO_2 и 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 NO (окись азота) и NO_2 (двуокись 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.

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 NO и лишь на 1-5% из двуокиси азота 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 количества токсичных веществ, содержащихся в дымовых газах

В процессе полного сгорания топлива в дымовых газах образуются углекислый газ CO_2 , водяные пары H_2O , азот N_2 , окислы серы SO_2 (сернистый ангидрид), SO_3 (серный ангидрид) и зола. Из них к числу токсичных относятся окислы серы SO_2 и SO_3 и зола. При высоких температурах в ядре факела топков

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

котлов большой мощности происходит частичное окисление азота, содержащегося в воздухе и топливе. Образуются окислы азота NO (окись азота) и NO₂ (двуокись азота).

При неполном сгорании топлива в топках могут образовываться окись углерода CO, углеводороды CH₄, C₂H₄ 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 твёрдых продуктов сгорания, таких как зола, шлак.

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

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

Расход топлива на сжигание для одного котла [18] (6.1):

$$B = \frac{D}{Q_p^H \cdot \eta_k} \quad (6.1)$$

$$B = \frac{126000000}{36764,6 \cdot 0,906} = 3792 \text{ м}^3/\text{ч} = 1,053 \text{ м}^3/\text{с}$$

где $D = 126000000$ кДж/ч (30 Гкал/ч) – номинальная производительность котла;

$Q_p^H = 36,764$ МДж/м³ – теплота сгорания природного газа.

6.2 Расчет выбросов окислов азота

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

В районной котельной расположена одна дымовая труба на 5 энергетических котлов. Рабочая масса органического топлива состоит из углерода C_p , водорода H_p , кислорода O_p , азота N_p , серы S_p , влаги W_p и золы A_p .

В топочной камере образуется в основном окись азота NO (более 95%). Образование двуокиси азота NO₂ за счет окисления NO происходит при низких температурах и требует значительного времени. Выброс окислов азота, г/с, рассчитывается по NO₂.

Выброс окислов азота (6.2):

$$M_{NO_2} = 0,034 \cdot 10^{-3} \cdot \beta_1 \cdot k \cdot B \cdot Q_n^p \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot (1 - \beta_2 \cdot r) \cdot \beta_3 \quad (6.2)$$

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;

k – коэффициент, характеризующий выход окислов азота на 1 т сожженного условного топлива, кг/т.

Для водогрейных котлов (6.3):

$$k = \frac{2,5 \cdot Q_\phi}{20 + Q_n} \quad (6.3)$$

где Q_n и Q_ϕ – номинальная и фактическая теплопроизводительности котла, Гкал/ч.

$$k = \frac{2,5 \cdot 24,07}{20 + 30} = 1,204 \text{ кг/т}$$

$$M_{NO_2} = 0,034 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 1,204 \cdot 2094 \cdot 26,4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2,2 \text{ г/с}$$

Общий объем продуктов сгорания топлива в устье трубы для 6 котлов (6.4):

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

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

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

$$V_1 = 12,65 \cdot 2,094 = 26,49 \text{ м}^3/\text{с}.$$

6.3 Поверочный расчет дымовой трубы

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 районной котельной $H = 45 \text{ м}$ и диаметр $D = 3 \text{ м}$.

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

В таблице 6.1 представлены ПДК загрязняющих веществ.

Таблица 6.1- Значения максимально-разовых и среднесуточных ПДК [30]

Загрязняющее вещество	ПДК, мг/м^3	
	Максимально-разовая	Среднесуточная
Пыль нетоксичная	0,50	0,150
Сернистый ангидрид (SO_2)	0,50	0,050
Углерода окись (CO)	3,00	1,000
Азота окись (NO)	0,60	0,060
Азота двуокись (NO_2)	0,085	0,040
Сажа (копоть)	0,15	0,050
Пятиокись ванадия (V_2O_5)	–	0,002
Бензапирен ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$)	$1 \cdot 10^{-6}$	–

ПДК_{мр} – 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_{сс} – 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_{мр} = $0,085 \text{ мг/м}^3$.

Максимальная приземная концентрация окислов азота содержащихся в дымовых газах определяется по формуле (6.5):

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} \quad (6.5)$$

где ΔT – разность температур выбрасываемых газов и атмосферного воздуха;

T_o – температура дымовых газов, $T_o = 160^\circ\text{C}$;

T_e – температура воздуха, $T_e = 25^\circ\text{C}$;

$\Delta T = T_o - T_e = 160 - 25 = 135^\circ\text{C}$;

H – высота дымовой трубы, $H = 45$ м;

V_1 – объем продуктов сгорания топлива, $V_1 = 26,49$ м³/с;

M – расход выбрасываемого в атмосферу вещества, $M = 2,2$ г/с;

A – коэффициент, учитывающий рассеивающие свойства атмосферы при неблагоприятных метеорологических условиях, для европейской территории России и Урала севернее 52° 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. Значения этих коэффициентов определяются по вспомогательным величинам (6.6):

$$f = \frac{10^3 \cdot w_o^2 \cdot D_o}{H^2 \cdot \Delta T} \quad (6.6)$$

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

где D_o – диаметр устья источника выброса, $D_o = 3$ м;

w_o – средняя скорость выхода газозоодушнoй смеси из устья источника выброса, рассчитывается по формуле (6.7):

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

$$w_o = \frac{4 \cdot 26,49}{\pi \cdot 3^2} = 3,75 \text{ м/с}$$

$$f = \frac{10^3 \cdot 3,75^2 \cdot 3}{45^2 \cdot 135} = 0,15$$

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{26,49 \cdot 135}{45}} = 2,79$$

Коэффициент m рассчитывается (6.8):

$$\text{при } f < 100 \quad m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34 \sqrt[3]{f}} \quad (6.8)$$

$$\text{при } f > 100 \quad m = 1,47 / \sqrt[3]{f}$$

Коэффициенты n рассчитываются (6.9):

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

$$\text{при } 0,5 < v_m < 2 \quad n = 0,532 \cdot v_m^2 - 2,13 \cdot v_m + 3,13 \quad (6.9)$$

$$\text{при } v_m \leq 0,5 \quad n = 4,4 \cdot v_m$$

$$\text{при } f < 100 \quad m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{0,15} + 0,34 \sqrt[3]{0,15}} = 0,89$$

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

$$C_m = \frac{160 \cdot 2,2 \cdot 1 \cdot 0,89 \cdot 1}{45^2 \sqrt[3]{26,49 \cdot 135}} = 0,010 \text{ мг/м}^3$$

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_ϕ . Под фоновой концентрацией для отдельного источника загрязнения атмосферы понимается загрязнение атмосферы в городе или другом населенном пункте, созданное другими источниками, исключая данный.

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

7 АВТОМАТИЗАЦИЯ

Главной задачей автоматического регулирования энергетической установки – обеспечить ее работу во всей области гарантированных режимов. Режимы работы различных энергоустановок характеризуются значениями одной или несколькими величин. Режимы работы водогрейного котла характеризуются давлением и температурой воды при выходе из котла и его теплопроизводительностью.

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

Общими задачами контроля и управления работой котельного агрегата является обеспечение:

- выработки в каждый данный момент необходимого количества тепла и горячей воды при определенных ее параметрах – давлении и температуры;
- экономичности сжигания топлива, рационального использования электроэнергии для собственных нужд установки и сведение потерь теплоты к минимуму;
- надежности, т.е. установление и сохранение нормальных условий работы котла, исключающих возможность неполадок и аварий как собственно агрегата, так и вспомогательного оборудования.

Персонал, обслуживающий данный агрегат постоянно должен иметь ясное представление о режиме работы на основании показаний контрольно-измерительных приборов, которыми должен быть оснащен котел. Эти приборы делятся на пять групп:

- расхода горячей воды, топлива, воздуха, дымовых газов;
- давлений воды, газа, воздуха и для измерений разряжения в элементах и газоходах котла и вспомогательного оборудования;
- температур воды, топлива, воздуха и дымовых газов;
- уровня воды в баках, уровня топлива в емкостях;
- качественного состава дымовых газов и воды.

С помощью регулирования решаются следующие основные задачи:

- регулирование в определенных пределах заранее заданных значений величин, характеризующих процесс,
- управление, т.е. осуществление обычно дистанционно периодических операций;
- защита оборудования от повреждений из-за неустойчивости процессов;
- блокировка, которая обеспечивает автоматическое включение и выключение оборудования, вспомогательных механизмов и органов управления с определенной последовательностью, обусловленной технологическим процессом.

Важной физической и экономической задачей является поддержание оптимального соотношения газ-воздух, так как горения топлива является важнейшим процессом, происходящих в котельной. Перечисленные задачи решаются одновременно и в объеме, зависящем от мощности и стоимости

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

оборудования: чем крупнее и дороже агрегат или установка, тем больше количество процессов автоматизируется.

В данной котельной объем средств автоматизации соответствует требованиям "Правил устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов", "Правил безопасности в газовом хозяйстве", СНиП П-35-76.

Аппаратура управления котлом установлена в двух щитах управления 1ЩК-123 и 1ЩК-456, установленных по разные стороны котла. Щит 1ЩК-123 управляет горелками №№1,2,3, щит 1ЩК-456 управляет горелками №№4,5,6. В щите 1ЩК-123 помимо аппаратуры управления горелками №№1,2,3 установлена панель управления котлом "B&R" Power Panel PPO045 и вся остальная аппаратура управления. Автоматизация котла разработана на базе австрийской автоматики серии X20 компании B&R, приборов и средств автоматизации НПП "Прома". В автоматическом режиме управление котлами осуществляется с персональных компьютеров, установленных в диспетчерской.

Кроме приборов, выведенных на щит управления, применяется местная установка контрольно-измерительных приборов:

- термометров для измерения температур воды; манометров для измерения давления;
- различных тягометров и газоанализаторов;
- расходомеров;
- запально-сигнализирующих устройств.

На шкале манометра должна быть нанесена красная черта на уровне деления, соответствующего рабочему давлению для данного элемента с учетом добавочного давления от веса столба жидкости.

Манометр должен быть установлен так, чтобы его показания были отчетливо видны обслуживающему персоналу, при этом шкала его должна быть расположена вертикально или с наклоном вперед до 30° для улучшения видимости показаний.

Для водогрейных котлов приборы для измерения температуры воды должны быть установлены на входе и выходе воды.

Допустимая температура горячей воды должна быть отмечена на шкале термометра красной чертой.

Приборы необходимы не только для эксплуатации, но и для периодических испытаний, проводимых после ремонтов или реконструкции.

В котельной подлежат автоматизации следующие процессы:

1. регулирование в определенных пределах заранее заданных значений величин, характеризующих протекание процесса;
2. управление – осуществление периодических операций (обычно дистанционно);
3. защита оборудования от повреждений вследствие нарушений процессов;
4. блокировка, которая обеспечивает автоматическое включение и выключение оборудования, вспомогательных механизмов и органов управления с определенной последовательностью в соответствии с технологическим процессом.

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

Пуск, остановка и эксплуатация котла должны производиться в строгом соответствии с инструкцией по эксплуатации котлов, работающих на газовом топливе. Вся аппаратура управления и сигнализации установлена на щитах ЩСУ и ЩСК (щит сигнализации и контроля) стандартизированного изготовления.

Автоматизация котла предусматривает:

– управление существующими задвижками на газопроводе к котлу, трубопроводе воды в котёл и из котла: – кнопками с блоков управления БУЭП-2, в автоматическом режиме – через цифровые выходные модули автоматики В&R;

– автоматическое управление направляющими аппаратами вентиляторов и дымососов. При включении вентилятора (дымососа) направляющий аппарат открывает всасывающий патрубок вентилятора (дымососа), при отключении-перекрывает;

– автоматический розжиг горелок котла. Для розжига горелок используются запально-сигнализирующие устройства ЗСУ-ПИ-60, по одному на каждую группу горелок. Команда на розжиг запальной горелки производится с панели управления Power Panel PPO045 или из операторской. При прохождении команды "Пуск" открывается клапан запальника 1-У1 и включается источник высокого напряжения 1-Е1, газо-воздушная смесь воспламеняется. Сигнал наличия пламени запальника поступает на вход сигнализатора ЛУЧ-КЭ, сигнализатор в свою очередь, выдаёт разрешение на розжиг горелок. Контроль пламени производится фотодатчиком сигнализирующим ФДС-03-220, входящим в комплект ЗСУ-ПИ-60;

– автоматическое регулирование температуры воды на выходе из котла (или в теплосеть) в зависимости от температуры наружного воздуха (регулятор температуры). Входные сигналы – датчики температуры воды в теплосеть и температуры наружного воздуха аналоговые (термосопротивления ВР1, ВР2) и выходной сигнал 4-20 мА с измерителя температуры воды от котла Прома-ИТМ поз.16 на модули аналоговых входов X20AI4622; выходной сигнал с модуля дискретных входов/выходов DM9324 через твердотельные реле на управление регулирующей заслонкой ЗД-150 на газопроводе к котлу;

– автоматическое регулирование давления воздуха к котлу (регулятор соотношения топливо-воздух). Входные сигналы - аналоговые 4-20 мА (давление воздуха и давление газа п.п.11,12) с Прома-ИДМ, выходные - с модуля аналоговых выходов X20AO2622 на частотный преобразователь вентилятора (задание частоты). При достижении частоты 95% от максимальной через модуль дискретных выходов X20DO2649 в работу включается второй вентилятор;

– автоматическое регулирование разрежения в топке котла (регулятор разрежения). Входной сигнал аналоговый 4-20 мА (разрежение в топке п.10) с Прома-ИДМ, выходной - с модуля аналоговых выходов X20AO2622 на частотный преобразователь дымососа (задание частоты). При достижении частоты 95% от максимальной через модуль дискретных выходов X20DO2649 включается второй дымосос;

– автоматическое регулирование давления воздуха к каждой горелке по соотношению давлений газа к горелке, воздуха к горелке и разрежению в топке. Входные сигналы - аналоговые 4-20 мА с Прома-ИДМ (давление газа) и с

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

измерителя дифференциального давления АДР-0,5.5 (перепад давление воздуха – разрежение в топке) на модули аналоговых входов X20AI4622; выходные с модуля аналоговых выходов X20AO2622 на модули дискретных входов/выходов DM9324 через твердотельные реле на управление регулирующим клапаном "Регуляр-Л" с электроприводом LM 230-S;

– учёт расхода газа на котёл теплоэнергоконтроллером ИМ 2300 в комплекте со счётчиком газа ДРГ.МЗ-5000 и датчиками температуры и давления. ИМ2300 установлены на боковых стенках щитов 1ЩК-123 и 2ЩК-123;

– учёт расхода воды через котёл с помощью существующей диафрагмы, датчика перепада давления ДДМ-03-25 ДД и измерителя-регулятора двухканального ОВЕН 2ТРМ1 с функцией вычисления квадратного корня из измеряемой величины;

– автоматическая отсечка подачи газа к котлу при возникновении следующих аварийных режимов работы котла:

- повышение или понижение давления газа к горелкам;
- понижение давления воздуха к горелкам;
- уменьшение разрежения в топке;
- погасание факела горелок;
- повышение температуры воды на выходе из котла;
- повышение или понижение давления воды на выходе из котла;
- уменьшение расхода воды через котёл;
- неисправности цепей защиты, включая исчезновение напряжения.

В случае пропажи напряжения для поддержания системы автоматического управления "B&R" в рабочем состоянии предусмотрен источник бесперебойного питания, установленный в щите 1ЩК-123.

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В районной котельной установлено 5 энергетических котлов: 2 паровых котла ДКВр-20-13 паропроизводительностью 20 т/ч; 3 водогрейных котла, два из них ПТВМ-30 и один КВ-ГМ-20-13, производительностью 35 и 20 МВт соответственно.

Техническое перевооружение котла ПТВМ-30 подразумевает замену автоматики и горелочных устройств.

Опасные и вредные производственные факторы (ОВПФ) делятся на физические, химические, биологические и психофизические. В ГОСТ 12.0.003-80 «Опасные и вредные производственные факторы» приводится классификация ОВПФ.

В зоне обслуживания водогрейных котлов имеют место:

1. Физические факторы:

- Тепловое излучение от горячих поверхностей;
- Повышенный уровень постоянного шума;
- Повышенный уровень локальной и общей вибрации;
- Освещение;
- Неудовлетворительные параметры микроклимата.

2. Химические факторы:

- Высокое содержание CO_2 , NO_x в дымовых газах;
- Возможные утечки природного газа.

3. Факторы трудового процесса:

- Динамическая нагрузка;
- Статическая нагрузка;
- Напряженность труда.

4. Травмоопасные факторы:

- Повышенное давление теплоносителя;
- Возможность поражения теплоносителем с высокой температурой;
- Разностное расположение оборудования, множество лестниц и площадок, в результате чего, возможны падения и травмирование;

• Движущиеся и вращающиеся части механизмов могут вызвать механическое повреждение тела человека при попадании частей тела в поле действия этих частей механизмов;

- Возможность поражения электрическим током.

5. Аварийно-возможные ситуации:

- Утечка топлива;
- Взрыв котла;

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

- Пожар;
- Виброакустические факторы;
- Поступление угарного газа в котельную;
- Разгерметизация трубопроводов горячего пара.

8.1 Защита от шума

Источником механического шума в котельном цехе являются насосы, дымососы, вентиляторы с приводом от электродвигателя, и горелки котельных агрегатов. Шум электрических машин образуется при одновременном действии следующих составляющих шумов: магнитный, то есть колебания ротора и статора под действием магнитных сил; аэродинамический – вращение ротора и движение воздушных потоков; механический – вибрация деталей и узлов машины. В трубопроводах и насосах может возникнуть кавитация. Кавитационный шум проявляется даже на ранней стадии кавитации. В воздуходувных аппаратах и горелках главной составляющей шума является аэродинамический шум, связанный с турбулентным течением газа или воздуха.

Шум ухудшает точность выполнения работ, затрудняет прием и восприятие информации, способствует быстрой утомляемости, что ведет к снижению производительности труда.

Повышенный уровень производственного шума на рабочем месте оказывает вредное воздействие на организм человека: снижается острота слуха, зрения, нарушается нормальная деятельность сердечно-сосудистой системы. Сильный производственный шум может быть причиной функциональных изменений нервной, кровеносной, а также пищеварительной систем организма человека.

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования к безопасности», средства коллективной защиты по отношению к источнику возбуждения шума, снижающие шум на пути его распространения реализуется в применении кожухов на источниках шума. Предельно допустимый уровень шума для операторской работы в котельной – 80 дБА.

Чтобы ослабить проникающий шум, применяют звукоизолирующие преграды. Чем жестче, массивнее преграда тем труднее привести ее в колебание и тем лучше она изолирует звук. В качестве таких поверхностей используется стальные листы толщиной 0,7-2,0 мм с покрытием из вибродемпфирующей мастики ВД-17-58, снижающие уровень шума с частотной октавой от 63 до 8000 Гц на 20-45 дБ. стекло толщиной 4 мм ослабляет шум на 28 дБ.

Ослабление звука преградой значительно повышается, если ее выполнить из двух или более слоев с воздушными промежутками или прослойками войлока, ваты, поглощающими звук. Слои преграды выполняются жесткими, но не связанными между собой. Пористые материалы – войлок, вата, пемза, ткань, пористая штукатурка и керамика значительно ослабляют силу звука, в особенности высоких тонов при частотах выше 500 Гц.

Для ослабления низкочастотных шумов применяют гибкие панельные конструкции (из фанеры, ткани). При совпадении частот собственных колебаний

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

панели и звуковой волны, т.е. в резонанс, происходит наибольшая потеря звуковой энергии на механические колебания панели. Для этой цели используют перфорированные панели – облицовки. отверстия являются резонаторами. Перфорированные панели с отверстиями Ø 5-8 мм располагаются на расстоянии 80 – 100 мм стены. Шум оценивают по частотной характеристике, обеспечивающей согласование звуков различных уровней и частот с субъективными ощущениями.

Для уменьшения шума в трубопроводах и арматуре скорость воды принимается в пределах величины, при которой вибрация не будет создавать не допустимых шумовых явлений.

Вследствие невозможности установки звукоизолирующих перегородок, экранов для людей, которые в силу технологического процесса находятся в цехе, рекомендуется использовать средства индивидуальной защиты: противошумные вкладыши (беруши).

Учитывая необходимость создания комфортных условий труда для персонала щита управления, последние вынесены в отдельные помещения (будки с двойным остеклением для машинистов котлов). Это позволяет обеспечить аэрацию и звукоизоляцию помещений щитов управления, а также избежать влияние на показания приборов.

8.2 Защита от вибрации

Малые механические колебания, возникающие в упругих телах или телах, находящихся под воздействием переменного физического поля, называется вибрацией.

В производственных условиях длительное воздействие вибрации приводит к различным нарушениям здоровья человека. Общая вибрация оказывает неблагоприятное воздействие на нервную систему, наступают изменения в сердечно-сосудистой системе, вестибулярном аппарате, нарушается обмен веществ. Локальная вибрация вызывает различную степень нервно-мышечных, костно-суставных и других нарушений. При большой интенсивности и в определенном диапазоне частот вибрация может вызвать разрыв тканей, сотрясение головного мозга. Наиболее опасны для организма человека вибрации, частоты которых совпадают с частотами собственного колебания тела человека и его внутренних органов, так как такие вибрации могут вызвать резонансные явления в организме.

Согласно ГОСТ 12.1.012-90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования», для снижения вибрации в котельном цехе применяются методы, снижающие параметры по типу ее распространения. Опоры трубопроводов выполняются гибкими с пружинными компенсаторами. Все агрегаты устанавливаются на самостоятельные фундаменты, виброизолированные от пола и конструкции здания, либо на специальные амортизаторы в виде стальных пружин или упругих прокладок из резины, пробки, битуминизированного

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
						66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

войлока. Упругие прокладки и пружины вследствие своей гибкости ослабляют передачу вибрации. Между стенами, несущими балками и каркасом здания так же установлены прокладки для того, чтобы вибрация не передавалась по зданию.

Чтобы вибрация не передавалась через грунт, между фундаментом здания и грунтом выполнен акустический разрыв, т.е. воздушный промежуток шириной не менее 70 мм, заполненный поглощающим звук материалом (войлоком, сухими опилками).

Вибрацию в оборудовании устраняют путем статической и динамической балансировки вращающихся деталей. В резине, войлоке, пробке внутреннее трение очень велико. Приводя материалы с большим внутренним трением в плотное соприкосновение с вибрирующими предметами, ослабляют вибрацию, а вместе с ней и шум.

Такое ослабление вибрации называется демпфированием. Крупное оборудование, вызывающее вибрацию, изолируется матами прошивными, безобкладочными из базальтового супертонкого волокна в несколько слоев с каркасом из сетки. Соударяющиеся детали смазывают вязкими жидкостями, а вибрирующие детали погружают в масляные ванны.

В нашем случае общая вибрация категории 3А. Предельно допустимый уровень – 92 дБ. Для локальной вибрации по оси X – 112 дБ.

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

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

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 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 Освещение помещений производственных и складских зданий

Для обеспечения нормальных условий работы все производственные, вспомогательные и бытовые помещения, проходы, проезды и некоторые другие участки территории предприятия должны освещаться. В помещениях, где постоянно пребывает персонал, предусмотрено применение газоразрядных ламп, наружное освещение основных дорог на территории котельной осуществляется с помощью неоновых ламп. В кабельных и теплофикационных тоннелях при установке светильников на высоте менее 2,5 м применяется освещение напряжением не выше 42 В, согласно технике безопасности.

1. Для освещения помещений следует использовать, как правило, наиболее экономичные разрядные лампы. Использование ламп накаливания для общего

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

освещения допускается только в случае невозможности или технико-экономической нецелесообразности использования разрядных ламп.

Для местного освещения, кроме разрядных источников света, следует использовать лампы накаливания, в том числе галогенные.

2. Нормы освещенности, следует повышать на одну ступень шкалы освещенности в следующих случаях:

а) при повышенной опасности травматизма, если освещенность от системы общего освещения составляет 150 лк и менее (работа на дисковых пилах, гильотинных ножницах и т.п.);

б) при работе или производственном обучении подростков, если освещенность от системы общего освещения - 300 лк и менее;

в) при отсутствии в помещении естественного света и постоянном пребывании работающих, если освещенность от системы общего освещения - 750 лк и менее;

г) при наблюдении деталей, вращающихся со скоростью, равной или более 500 об/мин, или объектов, движущихся со скоростью, равной или более 1,5 м/мин;

д) в помещениях, где более половины работающих старше 40 лет.

При наличии одновременно нескольких признаков нормы освещенности следует повышать не более чем на одну ступень.

3. Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять не менее 10% нормируемой для комбинированного освещения при тех источниках света, которые применяются для местного освещения. При этом освещенность должна быть не менее 200 лк при разрядных лампах, не менее 75 лк при лампах накаливания. Создавать освещенность от общего освещения в системе комбинированного более 500 лк при разрядных лампах и более 150 лк при лампах накаливания допускается только при наличии обоснований.

В помещениях без естественного света освещенность рабочей поверхности, создаваемую светильниками общего освещения в системе комбинированного, следует повышать на одну ступень.

Аварийное освещение предусматривает автоматическое резервирование питания от аккумуляторных батарей, оно обеспечивает действия персонала по ликвидации последствий аварий.

Аварийным освещением оборудованы следующие места:

- проходы (не более 25% нормируемой освещенности);
- водоуказательные и измерительные приборы;
- тепловые щиты и пульты управления;
- вентиляторная и дымососная установки.

Кроме комбинированного и аварийного освещения предусмотрено также дежурное, охранное и специальное во взрывозащищенном исполнении освещение. По СНиП 23-05-95* «Естественное и искусственное освещение» разряд зрительных работ оператора котельной III. При системе общего освещения норма 200 лк, показатель ослепленности $P=40$, коэффициент пульсации $K_{П} = 15\%$.

8.6 Электробезопасность

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

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.

Сети электроснабжения прокладываются открыто по стенам в трубе по полу. В качестве аппаратуры защиты и управления используются шкафы управления, предусмотренные комплектно с вентилятором.

Для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током предусматривается система зануления и защитного заземления.

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

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

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

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

4 категория: любые воздушные линии, электропечи.

8.7 Пожаробезопасность

Пожаровзрывобезопасность может быть обеспечена мерами пожарной профилактики и активной пожарной защиты. Пожарная профилактика включает комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожара или уменьшение его последствий. Активная пожарная защита – меры, обеспечивающие борьбу с пожарами или взрывоопасной ситуацией. Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на:

- организационные;
- технические;
- режимные;
- эксплуатационные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию машин и внутрицехового транспорта, правильное содержание зданий, территории, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, организацию

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

пожарно – технических комиссий, издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности и т.д.

К техническим мероприятиям относятся, соблюдение противопожарных правил, норм проектирования, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования. Мероприятия режимного характера – это запрещение курения в неустановленных местах, производства сварочных и огневых работ в пажароопасных помещениях.

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

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

Возможными источниками пожара в котлотурбинном цехе являются система смазки и регулирования турбины, система топливоподачи котла, а так же система охлаждения обмоток статора генератора. В качестве агента в системе смазки и регулирования используется масло марки Тп-22 с температурой вспышки 186 °С. Агентами в системе топливоподачи котла является природный газ(водород 50%). Агентом охлаждения обмотки генератора является водород, пределы взрываемости которого в смеси с воздухом составляет 4...74%.

Утечки газа могут приводить к общему отравлению организма, вызывать удушье. Кроме того, в определенных концентрациях газо-воздушная смесь является взрывоопасной. Мазут является канцерогенным веществом, может способствовать появлению злокачественных опухолей.

Температуры, скорости газов и жидкостей выбраны исходя из требований технологического процесса, в местах соприкосновения металлических частей электрических машин с фундаментом установлены диэлектрические прокладки.

Изоляцию токоведущих частей выбирают с повышенной стойкостью против сырости и химических взаимодействий. вращающиеся части, которые могут вызвать искрение при случайном задевании за другие части, изготавливают из цветного металла, либо защищают взрывопроницаемой оболочкой.

Включатели, нормально искрящие по условиям работы, удаляют от мест скопления горючих материалов или выносят за пределы помещений. Силовое электрооборудование, приборы, аппараты и прводки защищают от химических воздействий, а такжк сырости. Приборы выбирают в пыленепроницаемом исполнении, электропроводки выполняются защищенными проводами типа ВРГ или СРГ в трубах.

Все электрические установки защищены как от грозových, так и от коммуникационных перенапряжений. Плотность генератора, работающего с избыточным давлением водорода 2 кгс/см², обеспечивается системой масляных уплотнений вала генератора.

Газопроводы оборудуют водяными затворами или пламяпреградителями для защиты от попадания взрывной волны или пламени со стороны сети потребления, а также от проникновения кислорода.

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Помещения цехов построены таким образом, чтобы ограничить распространение огня во время взрыва или пожара и уменьшить их разрушительные последствия. Для этого устанавливают прочные массивные стены из несгораемых материалов в тех направлениях, в которых взрыв или пожар приведет к наиболее разрушительным последствиям. Число эвакуационных выходов из котлотурбинного цеха и подсобных помещений и с каждого этажа должно составлять не менее двух. Эвакуационные выходы должны располагаться рассредоточено. Согласно СП 4.13130-2009 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы» ширина участков путей эвакуации должна быть не менее 1м, а дверей на путях эвакуации не менее 0,8 м. Ширина наружных дверей лестничных клеток должна быть не менее марша лестницы, высота прохода на путях эвакуации – не менее 2м.

Для предупреждения образования взрывоопасных газо – воздушных смесей большое значение имеет контроль воздушной среды производственного помещения. Наиболее прогрессивен контроль воздушной среды производственных помещений автоматическими сигнализаторами до взрывных концентраций. При включении предупредительной сигнализации и аварийной вентиляции предусматривается автоматическое или ручное отключение всего или части технологического оборудования.

Для тушения пожара предусмотрены следующие системы:

- парогенераторы воздушно – механической пены для тушения возгорания масла;
- система водяного пожаротушения закольцованная по цеху (пожарные гидранты);
- местные пожарные щиты, укомплектованные пожарным инвентарем (лопаты, ведра);
- углекислотные огнетушители для тушения возгорания электрооборудования.

8.8 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 производства.

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

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 начинающих 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 выше 380 В.

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

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

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

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.

Районная котельная Копейска снабжает тепловой энергией центральную часть города. Техническое перевооружение котла ПТВМ-30 подразумевает замену горелочных устройств и автоматики.

Современные газовые вихревые горелки ГМВАТ2-7,5 требуют меньший расход топлива на горелку и меньший коэффициент избытка воздуха, в связи с этим уменьшаются потери тепла с уходящими газами.

9.1 Смета капитальных затрат

В таблице 9.1 приведена смета капитальных затрат на техническое перевооружение.

Данные для составления сметы капитальных затрат взяты из документации бухгалтерии ОАО «Челябоблкоммунэнерго».

Таблица 9.1 – Смета капитальных затрат на техническое перевооружение котла ПТВМ-30 путем замены горелочных устройств

Наименование затрат	Цена, тыс. руб	Кол-во, шт.	Сумма, тыс. руб
1	2	3	4
Проектные работы	138,7	1	138,7
Демонтажные работы	14,6	6	87,6
Монтажные работы	17,3	6	103,8
Пуско-наладочные работы	21,2	1	21,2
Оборудование			
Газовые горелки вихревые ГМВАТ2-7,5 [57]	76,5	6	459,0
Другое (дополнительные материалы для монтажа горелки: винты, запорная арматура) [58]	–	–	54,0
Итого	–	–	864,3

Капитальные затраты для технического перевооружения путем замены горелочных устройств – $K = 864,3$ тыс. руб.

9.2 Экономия текущих затрат

В таблице 9.2 приведена калькуляция текущих затрат на обслуживание заменяемых горелок.

Данные о текущих затратах взяты из документации бухгалтерии ОАО «Челябоблкоммунэнерго».

Таблица 9.2 – Калькуляция текущих затрат на энергетическое обслуживание новых горелок ГМВАТ2-7,5 после технического перевооружения

Показатели и статьи затрат	Единица измерения	Величина
1	2	3
Годовой расход топлива	млн.м ³ /год	16,79
Тариф на газ [59]	руб. 1000м ³	3289
Топливо	тыс.руб./год	55225
Содержание и эксплуатация горелочных устройств ГМВАТ2-7,5	тыс.руб.	459
– стоимость оборудования	тыс.руб./год	4,59
1. Содержание оборудования и его текущий ремонт (1% стоимости оборудования)	тыс.руб./год	45,9
2. Амортизация оборудования (10% стоимости оборудования)	тыс.руб./год	1238,89
3. Основная и дополнительная зарплата ремонтного персонала ¹	тыс.руб./год	483,16
4. Отчисления на социальные нужды (39% от зарплаты ремонтников)	тыс.руб./год	1848,25
Итого затрат на содержание и эксплуатацию горелок		
Итого затрат	тыс.руб./год	59304,79

В таблице 9.3 приведена калькуляция текущих затрат на обслуживание существующих горелок.

Таблица 9.3 – Калькуляция текущих затрат на энергетическое обслуживание существующей горелки

Показатели и статьи затрат	Единица измерения	Величина
1	2	3
1. Годовой расход топлива	млн.м ³ /год	16,99
2. Тариф на газ	руб 1000м ³	3289
3. Топливо	тыс.руб./год	55880,11
Содержание и эксплуатация горелочных устройств стоимость оборудования МГМГ-6 ¹	тыс.руб.	525
Содержание и эксплуатация горелочных устройств МГМГ-6 ¹ стоимость оборудования МГМГ-6 ¹	тыс.руб.	525
1. Содержание оборудования и его текущий ремонт (1% стоимости оборудования)	тыс.руб./год	5,25
2. Амортизация оборудования (10% стоимости оборудования)	тыс.руб./год	52,5
3. Основная и дополнительная зарплата ремонтного персонала	тыс.руб./год	1238,89
4. Отчисления на социальные нужды (39% от зарплаты ремонтников)	тыс.руб./год	483,16
Итого затрат на содержание и эксплуатацию горелок	тыс.руб./год	2304,8
1. Итого затрат	тыс.руб./год	60489,71

¹Данные о текущих затратах взяты из документации бухгалтерии ОАО «Челябоблкоммунэнерго».

Экономия текущих затрат:

$$\Delta u = 60489,71 - 59304,79 = 1184,92 \text{ тыс. руб./год.}$$

9.3 Срок окупаемости проекта

Срок окупаемости рассчитывается по формуле (9.1):

$$T_{ок} = \frac{K}{\Delta u} \quad (9.1)$$

где K – капитальные затраты, тыс. руб.;

Δu – экономия текущих затрат, тыс. руб./год.

$$T_{ок} = \frac{864,3}{1184,92} = 0,729 \text{ лет} = 8,7 \text{ месяцев}$$

Таким образом, техническое перевооружение котла ПТВМ-30 путем замены горелочных устройств является экономически целесообразным.

9.4 Себестоимость 1 ГДж теплоты

Все виды материальных и денежных затрат, кроме капитальных вложений, связанные с производством и сбытом продукции составляют себестоимость изготовленной продукции.

В таблице 9.4 указаны затраты на производство 1 ГДж тепловой энергии.

Зарплата персонала управления цеха, эксплуатационных рабочих и данные о стоимости оборудования взяты из документации бухгалтерии ОАО «Челябоблкоммунэнерго».

Таблица 9.4 – Себестоимость 1 ГДж тепловой энергии

Показатели и статьи затрат	Единица измерения	Величина
1	2	3
1. Годовой расход топлива (для 5 котлов)	млн.м ³ /год	167,90
2. Тариф на газ	руб.1000м ³	3289
3. Топливо	тыс.руб./год	552223
4. Расход воды (для пяти котлов, с учетом возврата конденсата 75 тыс. м ³ /час)	млн. м ³ /год	728,982
5. Тариф на воду [60]	руб./м ³	32,8
6. Годовой расход воды	тыс.руб./год	23910,6
7. Основная и дополнительная зарплата эксплуатационных рабочих ¹	тыс.руб./год	5048,25
8. Отчисления на социальные нужды (39% от п.7)	тыс.руб./год	1968,72
9. Содержание и эксплуатация энергооборудования: – стоимость оборудования ¹	тыс. руб.	40350
9.1 Содержание оборудования и его текущих ремонт (1% стоимости оборудования)	тыс. руб./год	403,5

Продолжение таблицы 9.4

1	2	3
9.2 Амортизация оборудования (10% стоимости оборудования)	тыс. руб./год	4035
9.3 Основная и дополнительная зарплата ремонтного персонала	тыс. руб./год	1242,91
9.4 Отчисления на социальные нужды (39% от зарплаты ремонтников)	тыс. руб./год	484,91
Итого затрат на содержание и эксплуатацию оборудования	тыс. руб./год	6166,15
10. Цеховые расходы:		
10.1 Зарплата персонала управления цеха ¹	тыс.руб./год	843,96
10.2 Содержание и текущий ремонт цеховых зданий и сооружений 0,25% от стоимости оборудования)	тыс.руб./год	100,875
10.3 Отчисления на соц. нужды (39% от зарплаты персонала управления цеха)	тыс.руб./год	329,14
Итого затрат на цеховые расходы:	тыс.руб./год	1273,97
11. Прочие производственные расходы (10% от суммы зарплаты всех категорий персонала)	тыс.руб./год	716,89
12. Итого затрат	тыс.руб./год	592285
13. Годовой расход теплоты	ГДж/год	6895 · 10 ³
14. Себестоимость 1 ГДж теплоты	руб./ГДж	86

¹Зарплата персонала управления цеха, эксплуатационных рабочих и данные о стоимости оборудования взяты из документации бухгалтерии ОАО «Челябоблкоммунэнерго».

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].

В таблице 9.5 проведен SWOT-анализ проекта без технического перевооружения.

Таблица 9.5 – SWOT-анализ проекта без технического перевооружения

Сильные стороны (S)	Слабые стороны (W)
1) Опыт работы персонала с существующими горелками; 2) Устойчивая работа оборудования; 3) Простота конструкции; 4) Наличие средств на внедрение иных инноваций.	1) Износ горелочных устройств, потребность в замене оборудования; 2) Высокая аварийность оборудования; 3) Низкий КПД котельного агрегата; 4) Высокий расход топлива, сжигаемого в котельном агрегате; 5) При работе горелочных устройств происходит неполное сгорание топлива; 6) Большие потери тепла с уходящими газами; 7) Высокий коэффициент избытка топлива.
Возможности (O)	Угрозы (T)
1) Высокий спрос на тепловую энергию; 2) Удовлетворение потребителя, в результате бесперебойного и стабильного снабжения тепловой энергией.	1) Уменьшение первичных ресурсов; 2) Рост цен на энергоресурсы и на их транспортировку; 3) Повышение негативного воздействия окружающую среду; 4) Изменение курсов валют; 5) Законы, регулирующие объемы выбросов в окружающую среду;

В таблице 9.6 проведен SWOT-анализ проекта с техническим перевооружением.

Таблица 9.6 – SWOT-анализ проекта с техническим перевооружением (замена горелочных устройств)

Сильные стороны (S)	Слабые стороны (W)
---------------------	--------------------

1) Низкий расход топлива позволяет снизить затраты на топливо; 2) Высокий КПД котельного агрегата за счет установки энергоэффективных горелок; 3) Высокий уровень надежности и безопасности горелочных устройств; 4) Простота обслуживания и ремонта; 5) Быстрый запуск горелочных устройств; 6) Горелочные устройства обеспечивают устойчивое горение и высокую полноту сгорания топлива; 7) Большой диапазон регулирования по давлению и по коэффициенту избытка воздуха; 8) уменьшение текущих затрат на энергетическое обслуживание горелок.	1) Необходимость в капитальных затратах на техническое перевооружение; 2) Необходимость повышения квалификации персонала при работе на новом оборудовании; 3) Поверхность горелочного устройства под воздействием высокой скорости газового потока, подвержена перегреву; 4) Высокая эффективность горения зависит от давления в сети.
---	---

Продолжение таблицы 9.6

Возможности (О)	Угрозы (Т)
1) Появление на рынке более эффективного теплоэнергетического оборудования; 2) Поддержка со стороны государства.	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) Изменение курсов валют.

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

9.6 Оценка движущих и сдерживающих сил при разработке проекта

Для оценки движущих и сдерживающих сил пользуются полем сил Курта Левина. Курт Левин предложил рассматривать любую ситуацию или организацию, как балансирующие между движущими и сдерживающими силами изменения.

Среди факторов, вызывающих или препятствующих внедрению проекта выделяют движущие и сдерживающие силы.

Целью данного метода является оценка сильных и слабых сторон проекта.

– Рост цен на топливо. В настоящее время из-за инфляции и политической конъюнктуры на рынках сырья цены на органическое топливо постоянно растут. Это движущая сила высокой интенсивности, так как в настоящее время динамика роста цен очень велика.

– Наличие денежных средств. Это сильная движущая сила, так как в отсутствии денежных средств вообще не имеет смысла говорить о каком-либо

проекте. Проект можно реализовать только тогда, когда денежных средств достаточно для полной и своевременной реализации проекта.

– Конкуренция. На рынке проектирования источников теплоснабжения в г. Копейске работает достаточно большое количество сторонних компаний. Фактор конкуренции создает мотивацию – фирма стремится выполнить проект качественнее, быстрее, дешевле чем у конкурента. Это движущая сила малой величины, так как количество конкурентов на рынке не является решающим фактором в реализации проекта.

– Появление на рынке автоматизированного эффективного оборудования. В настоящее время идет успешное развитие технологий. Современное оборудование является наиболее автоматизированным и требует меньше внимания рабочих. Это слабая движущая сила, так как всегда на рынке можно найти выгодное предложение.

– Рост тарифов на тепловую и электрическую энергию. В настоящее время тарифы на тепловую и электрическую энергию постоянно повышаются. Это средняя движущая сила, так как после технического перевооружения значительно сократится потребление электрической и тепловой энергии.

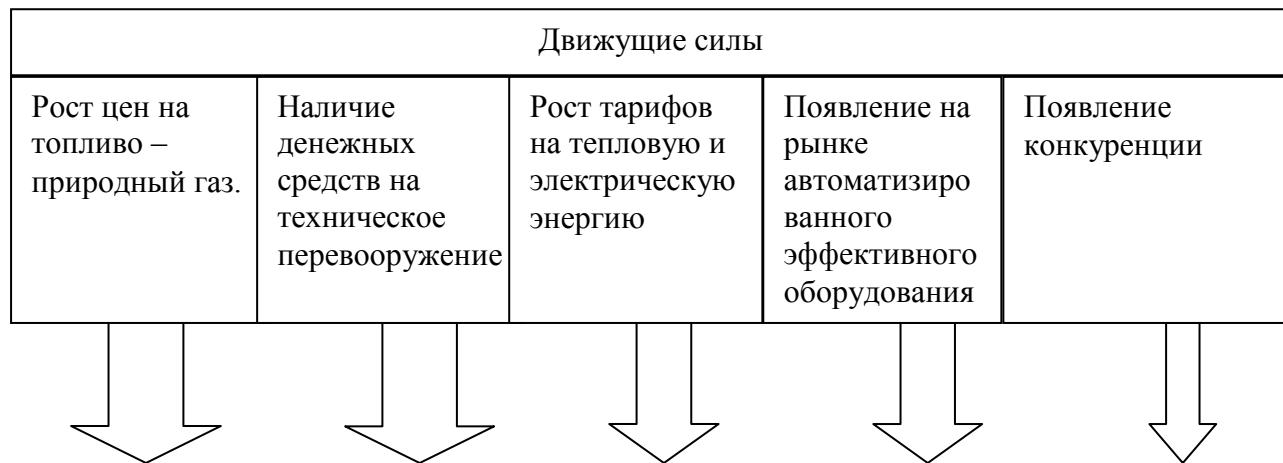
В качестве сдерживающих сил у проекта выступают следующие:

– Рост цен на оборудование. Из-за мировой политической обстановки и инфляции цены на оборудование растут. Это сильная сдерживающая сила, так как в настоящее время цены на комплектующие котельного агрегата значительно выросли.

– Инертность рабочего персонала. Работа с современным оборудованием является достаточно сложной задачей, из-за этого у рабочего персонала наблюдается нежелание переходить на новое оборудование. Это средняя сдерживающая сила, так как у компания может позволить переквалификацию всего рабочего персонала.

– Высокая трудоемкость и затратность процесса. Процесс создания нового источника теплоснабжения связан с большими затратами на разработку проекта и его реализацию. Это слабая сдерживающая сила, так как предприятие имеет большие свободные денежные средства.

В качестве потенциала изменений выступает то, что невозможно, либо очень трудно отнять у компании. В нашем случае – это большой опыт работы в сфере создания источников теплоснабжения и чистая кредитная история.



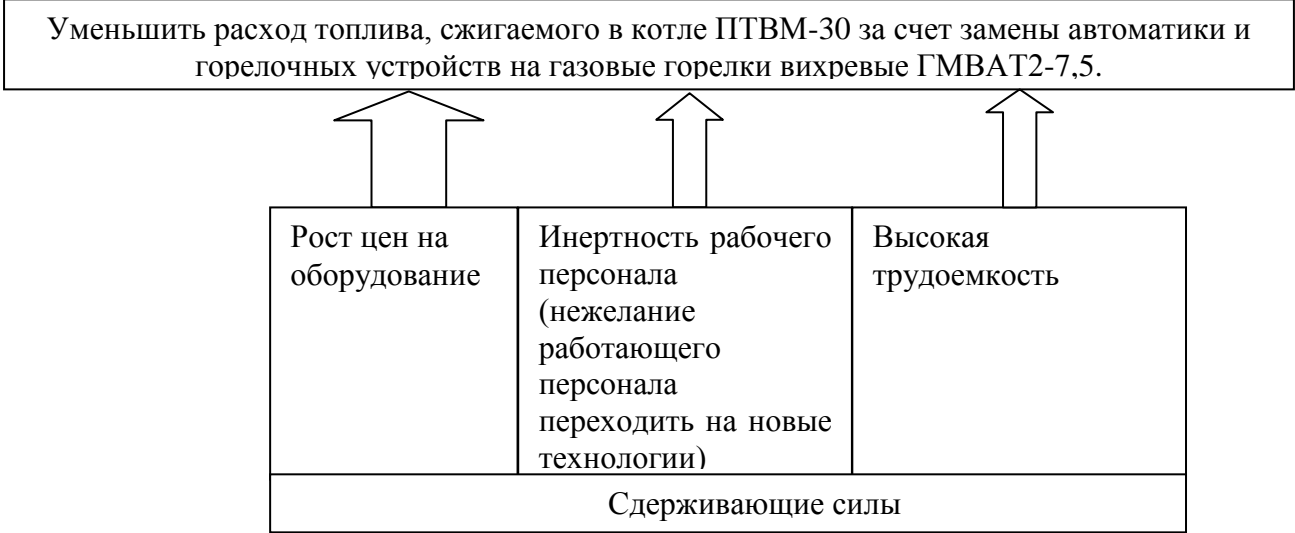


Рисунок 8.1 – Анализ поля сил К.Левина

Метод представления изменения в виде анализа поля сил описал Курт Левин, предложив рассматривать ситуацию, как находящуюся при определенном балансе – с одной стороны на объект изменения воздействуют движущие силы, с другой препятствуют сдерживающие. Для того, чтобы произвести изменение (внедрить проект) необходимо вывести ситуацию из равновесия, то есть величина или количество движущих сил должно быть больше сдерживающих, кроме того важен удельный вес сил – удельный вес движущих сил должен быть больше удельного веса сдерживающих.

Анализ поля сил показал, что техническое перевооружение является выполнимым, так как мощность движущих сил превышает сдерживающих.

9.7 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.

Модель целей организации содержит в себе как описание собственно целей и их характеристик, так и взаимосвязей между ними. В рамках этой модели между ее элементами устанавливаются иерархические отношения «цель-средство», предполагающие, что достижение каждой нижестоящей цели становится одним из средств для достижения вышестоящей.

Основой для построения вершины дерева целей становится набор стратегических целей, определяемых в рамках стратегии организации. Здесь следует обратить внимание на то, что стратегически значимыми следует признать не только те цели, которые определяют направления стратегического развития, но и долгосрочные цели, связанные с поддержанием функционирования системы управления и подсистем, связанных с производством и обеспечением.

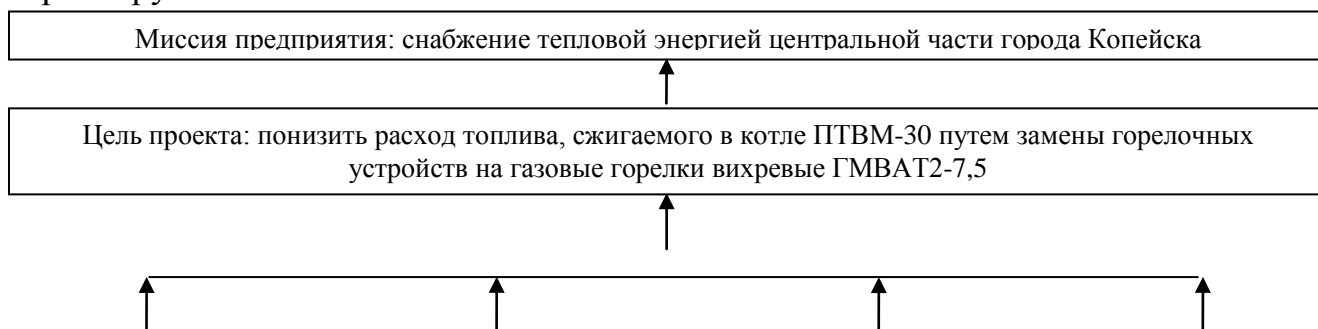
Достижение стратегических целей обеспечивается достижением как операционных (регулярных, permanently достигаемых) целей, так и проектных (уникальных по своему содержанию) целей.

Цели в рамках модели необходимо тщательно классифицировать и соответствующим образом структурировать в рамках диаграмм - таким образом, чтобы они становились презентабельными и максимально понятными для их читателя.

Выделение, описание и иерархическое упорядочивание каждой из целей выполняется посредством выполнения ряда соответствующих аналитических процедур и процедур согласования, и утверждения.

При построении «дерева целей» его проектирование идет по методу «от общего к частному». Правильно построенное дерево целей в дальнейшем легко может быть преобразовано в план-график Ганта.

На рисунке 9.2 представлено дерево целей проекта по техническому перевооружению котла ПТВМ-30.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В сравнении зарубежного и отечественного горелочного устройства выбор остановлен на отечественном оборудовании.

В специальной части бакалаврской работы проведены тепловой, аэродинамический расчет котельного агрегата, также проведен расчет горелочных устройств ГМВАТ2-7,5. После проведения расчета котельного агрегата невязка не превысила 0,5%. При аэродинамическом расчете определены сопротивления воздушного и газового тракта котла ПТВМ-30. В расчете горелочных устройств определены основные параметры газа и воздуха, глубина проникновения газовых струй в поток воздуха, диаметр расширившейся струи.

В разделе энергосбережение представлены методы энергосбережения и повышения энергоэффективности в котельных, произведен расчет экономии топлива, полученная в результате проведения технического перевооружения.

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-30.

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

Исходя из этого, цель выпускной квалификационной работы – повышение энергоэффективности котельного агрегата и энергосбережение, снижение выбросов вредных веществ в атмосферу, достигнута. Срок окупаемости при техническом перевооружении не превышает 5 лет и является экономически целесообразным. В результате проведения технического перевооружения котла снизился расход топлива на горелочные устройства и повысился коэффициент полезного действия котельного агрегата.

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

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 обеспечение. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2012. – 16 с.

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

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

					13.03.01.2017.083.02 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

- 18 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Стандартиформ, 1991. – 48 с.
- 19 ГОСТ 12.2.007.0-75 ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности – М.: Стандартиформ, 1978. – 15 с.
- 20 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.
- 21 Алабугин, А.А. Экономико-управленческая часть дипломного проекта: учебное пособие / А.А. Алабугин, Р.А. Алабугина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 46 с.
- 22 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.
- 23 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.
- 24 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.
- 25 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.
- 26 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.
- 27 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.
- 28 Булкин, А.Е. Автоматическое регулирование энергоустановок: учебное пособие для вузов / А.Е. Булкин. – М.: Изд-во МЭИ, 2009. – 508 с.
- 29 Волошенко, А.В. Горбунов Д.Б. Проектирование функциональных схем систем автоматического контроля и регулирования / А.В. Волошенко, Д.Б. Горбунов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 109 с.
- 30 Грибанов, А.И. Расчет дымовой трубы. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования / А.И. Грибанов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008г. – 22с.
- 31 Данилов, О.Л. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник / Данилов О.Л. – М.: Изд-во МЭИ, 2010. – 188 с.
- 32 Делягин, Г. Н. Теплогенерирующие установки: Учеб. для вузов / Г.Н. Делягин, В.И. Лебедев, Б.А. Пермяков. – М.: Стройиздат, 1986. – 559 с.
- 33 Зайцев, В.А. Промышленная экология / В.А. Зайцев – М.:БИНОМ Лаборатория Знаний, 2012. – 382 с.

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

- 34 Росляков, П.В. Методы защиты окружающей среды / П.В. Росляков. – М.: Изд-во МЭИ, 2007. –336 с.
- 35 Краецкая, О.Ф. Экология промышленных технологий / О.Ф. Краецкая, И.Н. Прокопья. – Минск: БНТУ, 2014. – 107 с.
- 36 Кудинов, А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина – М.: Машиностроение, 2011. – 374 с., ил.117
- 37 Кузнецов, Н.В. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / Н.В. Кузнецов, 2-е изд., перераб. РЕПРИНТ – М.:ЭКОЛИТ, 2011 – 296 с.
- 38 Кязимов, К.Г. Справочник работника газового хозяйства / Кязимов К.Г. – М.: Высшая школа, 2006. – 280 с.
- 39 Липатников, Г.А. Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики / Г. А. Липатников, М. С. Гузев. – Владивосток: ДВПИ, 2007 – 136 с.
- 40 Липов, Ю.М. Котельные установки и парогенераторы: учебник для вузов / Ю.М. Липов, Ю.М. Третьяков. – М.:Энергоатомиздат, 2006. – 208 с.
- 41 Минкина, С. А. Тепловой и аэродинамический расчеты котельных агрегатов / С. А. Минкина. – Самара: СГАСУ, 2013. – 104 с.
- 42 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.
- 43 Овчаренко, Н.И. Автоматика энергосистем. Учебник для вузов / под ред. Л.Ф. Дьякова. 3-е издание, исправленное. – М.:МЭИ, 2009. – 469 с.
- 44 Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов / Г.П. Плетнев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с.
- 45 Ривкин, А.С. Тепловой расчет котлоагрегата: учебное пособие / А.С. Ривкин. – Иваново: ИГЭУ, 2011. – 144 с.
- 46 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.
- 47 Сергеев, А.В. Справочное учебное пособие для персонала котельных: Топливное хозяйство котельных / А.В. Сергеев. – СПб.: ДЕАН, 2003. –320 с.
- 48 Сидельковский, Л. Н. Котельные установки промышленных предприятий: учебник / Л. Н. Сидельковский, В. Н. Юренев, 4-е изд., репринт. – М.: Бастет, 2009. – 528 с.
- 49 Соколов, Б.А. Котельные установки и их эксплуатация / Б. А. Соколов, – М.: Академия, 2007. – 432 с.
- 50 Тарасюк, В.М. Эксплуатация котлов: практическое пособие для оператора котельной / В.М. Тарасюк; под ред. Б.А. Соколова. – М.: ЭНАС, 2008. – 272 с.
- 51 Фокин, В.М. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения / В.М. Фокин. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006. – 240 с.
- 52 Хуторной, А.Н. Аэродинамический расчет газоздушного тракта котла: методические указания / А.Н. Хуторной, С.В. Хон. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. – 40 с.

						<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			89

53 Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов / О.Л. Данилов, А.Б. Горяев, И. В. Яковлев и др.; под ред. А.В. Клименко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 424 с.

54 Газовик-Теплоэнерго: оборудование для котельных – catalog/gorelki/gorelki-ggv

55 Паспорт горелки с ротационной форсункой – <http://www.energogaz.su/filearhiv/pub>

56 Средний состав газа, его теплота сгорания, плотность, объемы воздуха и продуктов сгорания – <http://www.rcom.ru/mobil/PL.htm>

57 РосПайп: каталог газового оборудования – http://ros-pipe.ru/shop/gazovoe_oborudovanie/gorelka-gazovaya-nizkogo-i-srednego-davleniya-ggv/gorelka-ggv-500

58 Магнум: каталог арматуры – <http://zla.magnum-stroy.ru/products/fittings>

59 Тарифы на газ в Челябинской области – <http://energybase.ru/tariff/chelyabinsk/2016>

60 Тарифы на услуги ЖКХ – <http://zlatoust.bezformata.ru/listnews/informatciya-ob-izmenenii-tarifov-na-uslugi/34905166>

					<i>13.03.01.2017.083.02 ПЗ</i>	Лист
						90
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		