

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

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОН-  
НАЯ РАБОТА

ПРОВЕРЕНА

Рецензент,

ПАО «Фортум» филиал ЧТЭЦ-1

Начальник КТЦ

\_\_\_\_\_ В.Е.Чендяев

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

«Промышленная теплоэнергети-

ка»

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ К.В. Осинцев

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

**Модернизация водогрейного котла ВК №1 ПТВМ-100 Челябинской ТЭЦ-1  
путем внедрения системы рециркуляции дымовых газов**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА  
ЮУрГУ–13.03.01.2019.334.22.ПЗ ВКР

Консультант по разделу  
«Экономика и управление»,

старший преподаватель

\_\_\_\_\_ Р.А. Алабугина

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Руководитель работы,

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ К.В. Осинцев

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Нормоконтролер,

старший преподаватель

\_\_\_\_\_ Р.А. Алабугина

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Автор работы,

студент группы ПЗ-579

\_\_\_\_\_ А.В. Шмелев

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Челябинск 2019

## АННОТАЦИЯ

Шмелев А.В. Модернизация водогрейного котла ВК №1 ПТВМ-100 Челябинской ТЭЦ-1 путем внедрения системы рециркуляции дымовых газов. – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, ЗФ; 2019 82 с 8 ил библиогр. список – 46 наим., 1 прил., 5 листов чертежей ф.А1, 2 демонстрационных листа ф.А1.

В выпускной квалификационной работе предложен версия модернизации водогрейного вида ВК №1 типа ПТВМ-100 пиковой водогрейной котельной Челябинской ТЭЦ-1.

Пояснительная записка содержит 9 разделов. В работе рассмотрены основные технические решения по модернизации, которые приводят к повышению энергетической эффективности котла, поэтому рассмотрены в разделе энергосбережения; выполнены тепловые расчеты котельного агрегата до и после проведения модернизации.

В ВКР проведен сравнительный анализ АСУ ТП отечественных и зарубежных производителей.

В научной части работы изучена суть метода рециркуляции дымовых газов, проведено изучения воздействия уровня рециркуляции в снижение выбросов оксидов азота построен соответствующий график

В разделе экологии рассмотрено воздействия теплообмена в топке котла на величину вредоносных выбросов атмосферу рассчитаны выбросы в продуктах сгорания котла ПТВМ-100 до и уже после модернизации, проведена проверка соответствия возвышенности дымовой трубы нужного уровня рассеивания вредных веществ.

Кроме того, в выпускной квалификационной работе бакалавра уделено внимание вопросам КИПиА и безопасности жизнедеятельности. В экономико-управленческой части проведены оценочные расчеты данного проекта, посчитаны капитальные затраты и изменение текущих затрат, срок окупаемости данного проекта и общий годовой экономический эффект. Выполнен SWOT-анализ вариантов котла до и после проведения модернизации, с помощью организационно-планового инструментария реализации лучшего варианта технических решений проведен анализ и сделаны выводы об экономической эффективности предложенных в ВКР решений.

Графическая часть выполнена с применением AutoCAD – системы автоматизированного проектирования на 8-ти листах формата А1.

					<i>13.03.01.2019.334.22 ПЗ</i>												
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	Модернизация водогрейного котла ВК№1 ПТВМ-100 Челябинской ТЭЦ-1 путем внедрения системы рециркуляции дымовых газов						<i>Лит.</i>		<i>Лист</i>	<i>Листов</i>			
<i>Выполнил</i>	<i>Шмелев А.В.</i>										В	К	Р	3		82	
<i>Руковод.</i>	<i>Осинцев К.В.</i>										ЮУрГУ Кафедра «Промышленная теплоэнергетика»						
<i>Н.контр.</i>	<i>Алабугина Р.А.</i>																
<i>Зав.каф.</i>	<i>Осинцев К.В.</i>																

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ОБОСНОВАНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ МОДЕРНИЗАЦИИ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА ВК №1 ПТВМ-100 ЧЕЛЯБИНСКОЙ ТЭЦ-1 ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ.....	9
1.1 Описание пиковой водогрейной котельной Челябинской ТЭЦ-1.....	9
1.2 Краткое описание котла ПТВМ-100.....	9
1.3 Постановка задачи комплексной модернизации котла.....	11
2 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	14
2.1 Топочная камера.....	14
2.2 Каркас, площадки и лестницы.....	14
2.3 Горелочное устройство.....	15
2.4 Система рециркуляции дымовых газов.....	15
2.5 Обмуровка котла.....	16
3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ АСУ ТП С ИНОСТРАННЫМИ АНАЛОГАМИ.....	18
3.1 Исходные данные для выбора системы АСУ ТП.....	18
3.2 Характеристика объекта автоматизации.....	18
3.3 Краткий обзор современных АСУ ТП на базе программно-технического комплекса (ПТК).....	19
3.4 Сравнительный анализ конкурентоспособных поставщиков АСУ ТП для энергетического оборудования на базе ПТК для электростанции РФ с иностранными аналогами.....	20
4 ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА ПТВМ-100.....	23
4.1 Характеристика топлива.....	23
4.2 Расчет объёмных характеристик продуктов сгорания.....	23
4.3 Теплосодержание воздуха и продуктов сгорания.....	25
4.4 Расчет объёмов и энтальпий продуктов сгорания при рециркуляции газов.....	28
4.5 Тепловой баланс котла и расход топлива.....	30
4.6 Конструктивные характеристики топочной камеры.....	30
4.7 Тепловой расчет топочной камеры.....	32
4.8 Тепловой расчет топочной камеры из цельносварных панелей.....	34
4.9 Расчет конвективной части котла.....	38
4.10 Определение невязки теплового баланса.....	40
5 НАУЧНАЯ ЧАСТЬ.....	41
5.1 Суть метода рециркуляции дымовых газов.....	41
5.2 Цель исследования.....	43
5.3 Объект и методы исследования.....	44
6 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ.....	48
6.1 Влияние теплообмена в топке котла на величину вредных выбросов в атмосферу.....	48

					<i>13.03.01.2019.334.22 ПЗ</i>	лист
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		4

6.2	Проверка соответствия высоты дымовой трубы необходимой степени рассеивания вредных веществ.....	49
6.2.1	Расчет оксидов азота в продуктах сгорания котла ПТВМ-100 до модернизации.....	51
6.2.2	Расчет оксидов азота в продуктах сгорания котла ПТВМ-100 после модернизации.....	52
6.2.3	Расчет рассеивания оксидов азота.....	52
7	КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И АВТОМАТИКА.....	55
7.1	Автоматизация котла.....	55
7.2	Перечень работ, которые необходимо выполнить перед проведением комплексного опробования защит.....	56
7.3	Условия проведения комплексного опробования тепловой защиты водогрейных котлов.....	56
7.4	Проверка защит, действующих на останов котла.....	57
7.4.1	Проверка защиты от повышения температуры воды после котла.....	57
7.4.2	Проверка защиты от понижения давления мазута перед котлом.....	58
7.4.3	Проверка защиты от повышения или понижения давления газа перед котлом.....	58
7.4.4	Проверка защиты от повышения давления воды за котлом.....	58
7.4.5	Проверка защиты от понижения давления воды за котлом.....	58
7.4.6	Проверка защиты от понижения расхода воды через котел.....	59
7.4.7	Проверка защиты от погасания факела в топке.....	59
7.4.8	Проверка действия кнопки "Ручной останов котла".....	59
7.4.9	Проверка защиты "Останов дымососа или вентилятора".....	59
7.4.10	Проверка защиты от исчезновения напряжения в цепях питания КИПиА.....	60
7.5	Меры безопасности при проведении комплексного опробования защит.....	60
8	БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	61
8.1	Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	61
8.2	Характер воздействия выявленных опасных и вредных производственных факторов на оборудование и организм человека.....	62
8.3	Нормирование опасных и вредных производственных факторов.....	63
8.4	Производственная санитария.....	63
8.5	Безопасность технологического оборудования.....	65
8.6	Эргономика и производственная эстетика.....	66
8.7	Пожаровзрывобезопасность.....	67
9	ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ.....	68
9.1	Технико-экономический расчет модернизации водогрейного котла ВК №1 ПТВМ-100 Челябинской ТЭЦ-1 путем внедрения системы рециркуляции дымовых газов.....	68
9.1.1	Смета капитальных затрат на модернизацию водогрейного котла ПТВМ-100.....	68
9.1.2	Расчет изменения текущих затрат.....	69
9.1.3	Расчет срока окупаемости модернизации котла ПТВМ-100.....	70

9.2 SWOT – анализ для реализации проекта модернизации водогрейного котла ПТВМ-100.....	71
9.3 Планирование целей предприятия и проекта.....	72
9.3.1 Планирование целей предприятия в пирамиде целеполагания.....	72
9.3.2 Планирование целей проекта в дереве целей.....	74
9.3.3 Модель поля сил эффективности реализации проекта.....	74
9.3.4 Ленточный график Ганта.....	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	78
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	80
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ПРИЛОЖЕНИЕ А. График Ганта по реализации целей проекта.....	83

## ВВЕДЕНИЕ

Пиковые водогрейные теплофикационные котлы вида ПТВМ-100, установленные в качестве источника теплоснабжения, предусмотрены для покрытия предельных и ключевых нагрузок в концепциях централизованного теплоснабжения и представляют собою прямоточные установки, которые непосредственно подогревают воду тепловых сетей.

При эксплуатации котлов данного типа выявила серьезные недостатки, которые вызывают несоблюдение стандартной эксплуатации и требуют существенных расходов используемых материалов и труда для поддержания котлов в рабочем состоянии. Ключевые конструктивные недочеты котлов типа ПТВМ-100 следующие:

1. Конвективная поверхность нагрева исполнена из прогибающихся, выходящих из ранжира гладких труб небольшого диаметра  $\varnothing 28 \times 3$  мм с тесными шагами в шахматном пучке и недостаточным креплением змеевиков в газоходе. Она чувствительна к закупорке проходных сечений труб внутренними отложениями, внешним засорением, что вызывает рост аэродинамического сопротивления конвективных пучков и, как следствие, снижение теплопроизводительности котла, из-за недостатка тяги.

2. Настенные экраны из гладких труб  $\varnothing 60 \times 3$  мм с трубной тепловой изоляцией в отсутствие железной обшивки никак не гарантируют необходимую газоплотность и содействуют низкотемпературной серно-кислотной коррозии тыльных труб из-за проникновения агрессивной газовой среды через зазоры между трубами.

3. Присутствие значительного числа горелок с индивидуальными вентиляторами усложняет управление топочного процесса, приводит к большим естественным присосам воздуха через неработающие горелки, вызывая тепловые перекосы в топке и конвекционных поверхностях нагрева, что снижает эффективность работы поверхностей нагрева и приводит к увеличению температуры уходящих газов и уменьшению экономичности работы котла. Выбросы в атмосферу оксидов азота с котла никак не соответствуют нынешнему уровню для газомазутных котлов.

4. Отсутствие заблаговременного подогрева воздуха до положительных температуры в зимнее время приводит к обледенению шиберов и крыльчаток вентиляторов, и поломки вентиляторов.

Наряду с данными, в России существует необходимый опыт модернизации водогрейных котлов вида ПТВМ-100, который позволяет ликвидировать минусы их конструкции.

К примеру, в 1996 года МГП «Мостеплоэнерго» вместе с котельным заводом «Дорогобужкотломаш» создали проект и выполнили модернизацию водогрейного котла ПТВМ-100 местной тепловой станции «Коломенская», которая состояла в изменении конфигурации топки, снижении на 1400 мм верхнего и нижнего яруса горелочных приборов, увеличении силы индивидуальных вентиляторов, монтажу дымовой трубы вышиной 69 метров, заключенной в

					13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		7

трубный каркас. Новейший котел целиком вписывался, в имеющуюся ячейку котла ПТВМ-100, что позволило максимально применять каркасные конструкции, а повышение размера топки позволило сбросить прошлые значимости температурных напряжений при общем росте тепловой мощности котла на 20 Гкал/час. Новейший котел ПТВМ-120 был принят межведомственной комиссией с целью промышленного производства. В 2001 году в «Мостеплоэнерго» ранее эксплуатировалось 32 реконструированных котла ПТВМ-120 и ПТВМ-60.

Принимая во внимание положительный опыт работы реконструированных котлов в системе «Мостеплоэнерго» в выпускной квалификационной работе предлагается произвести модернизацию котла ВК №1 ПТВМ-100, установленных в пиковой водогрейной котельной Челябинской ТЭЦ-1.

Модернизация котла ПТВМ-100 является актуальной темой для ВКР ввиду повсеместного использования котлов этого типа на крупных котельных и ТЭЦ и ряду недостатков, перечисленных выше. Для накопления навыка в проведении таких событий было решено осуществить работы пока в одном конкретном котле, включенного по газоотводящему тракту в общую железобетонную дымовую трубу и имеющего газоход, что облегчает задачу по подаче теплого воздуха на всас вентиляторов котла.

Целью ВКР является разработка проекта модернизации водогрейного котла ВК №1 ПТВМ-100 Челябинской ТЭЦ-1 путем внедрения системы рециркуляции дымовых газов. Задачи работы:

- обоснование актуальности выбора данной темы в выпускной квалификационной работе бакалавра;
- выполнение теплового расчета котла до и после проведения модернизации;
- исследование влияния степени рециркуляции дымовых газов в понижение выбросов оксидов азота;
- контроль соотношения вызвышенности дымовой трубы нужной уровня рассеивания вредных элементов;
- технико-экономическое обоснование проведения модернизации водогрейного котла ПТВМ-100.

					13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8



бенжен

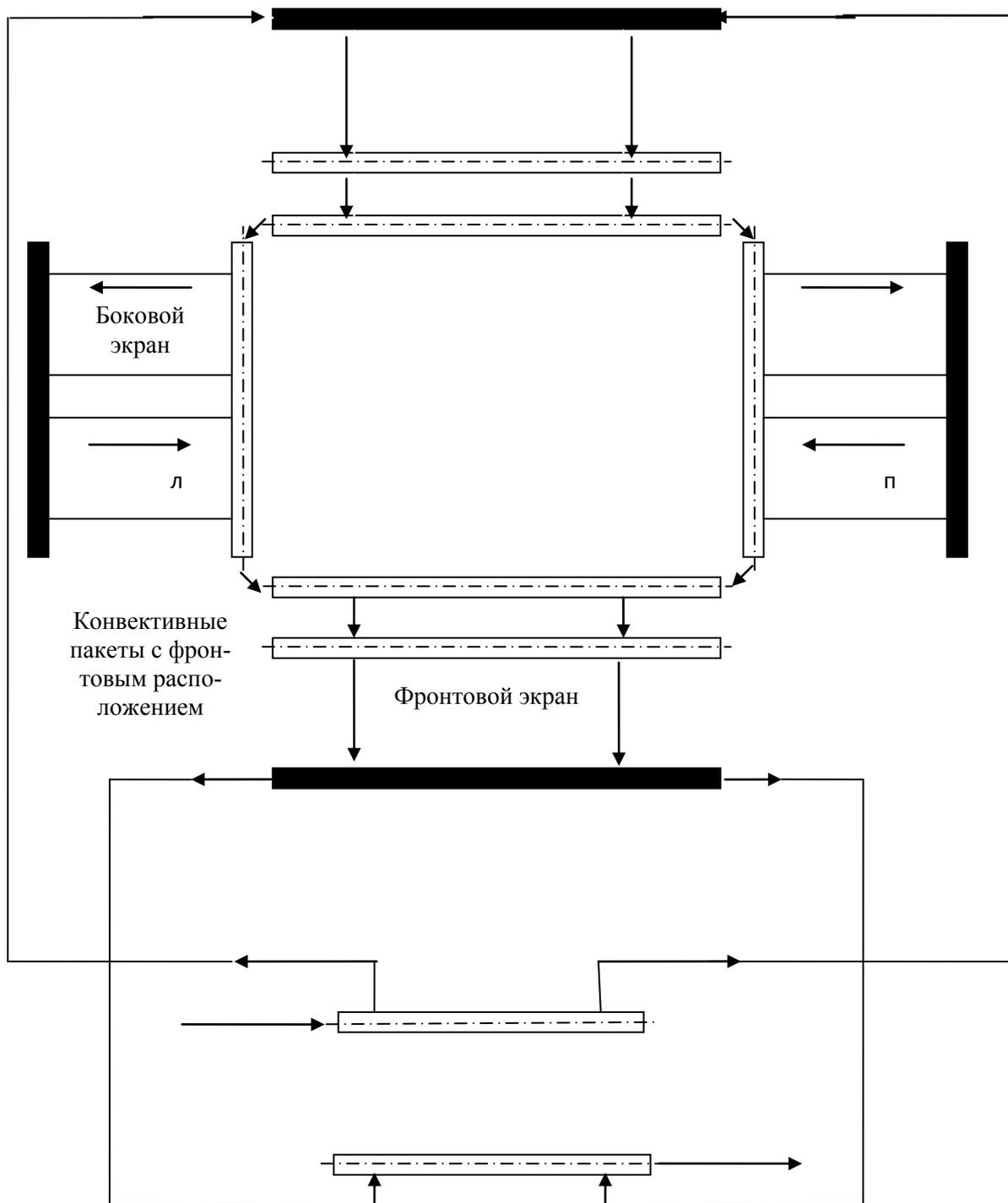


Рисунок 1.1 – Схема циркуляции котла ПТВМ-100 (основной режим)  
белым цветом отмечены верхние коллекторы,  
черным цветом – нижние коллекторы  
ещенными по 8 единиц на фронтной и задней стенках котла и 16 дутьевыми  
вентиляторами. Горелки размещены в 2 яруса, 6 горелок в нижнем ярусе и 2 – в  
верхнем.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

13.03.01.2019.334.22 ПЗ

лист

10

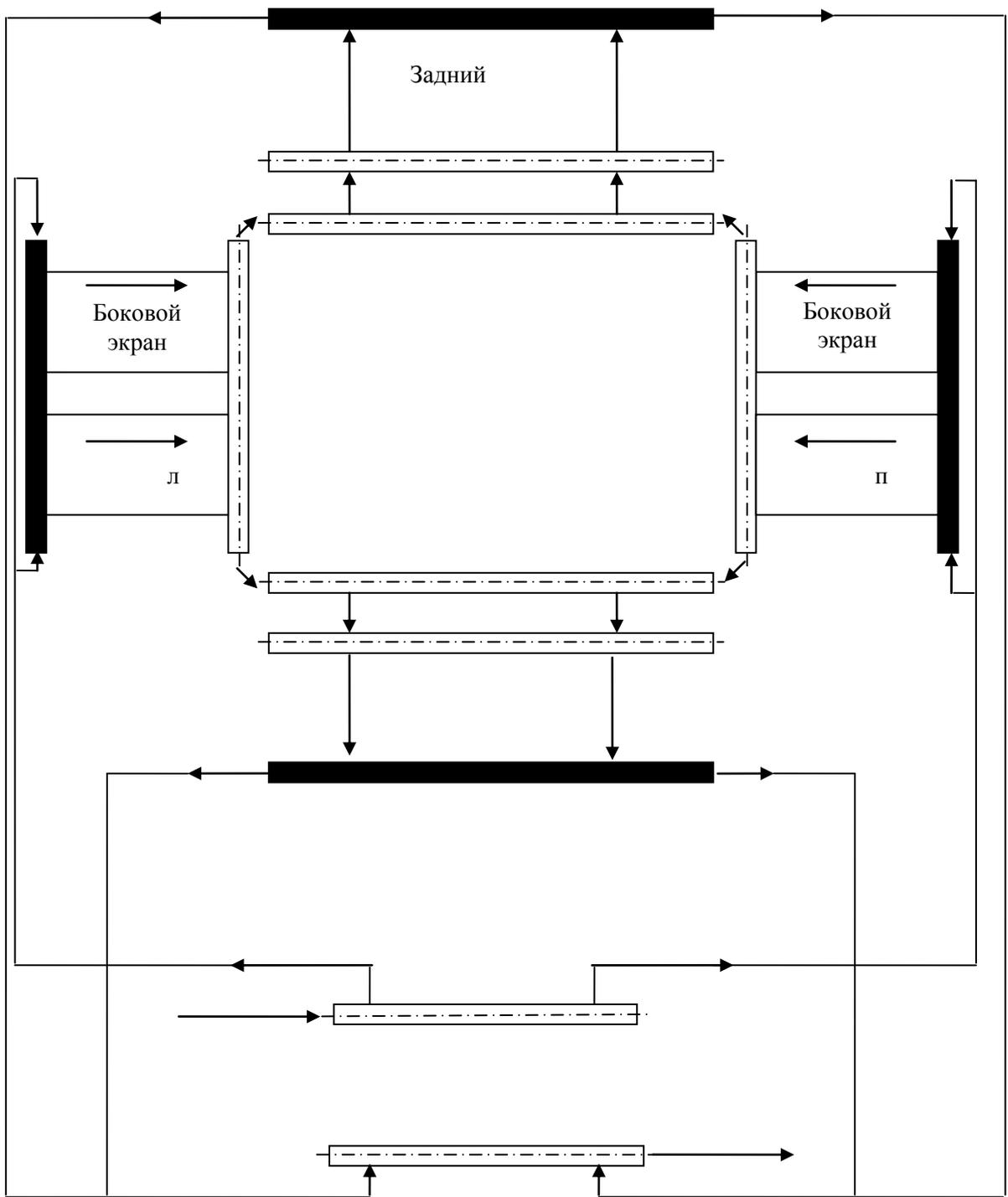


Рисунок 1.2 – Схема циркуляции котла ПТВМ-100 (пиковый режим)  
 белым цветом отмечены верхние коллекторы,  
 черным цветом – нижние коллекторы

Каждую горелку обслуживает собственный электроклапан. Нагревание прибывающего в котел воздуха не предусматривается. Урегулирование производительности котла осуществляется с помощью отключения и включения от-

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

13.03.01.2019.334.22 ПЗ

лист

11

дельных горелок. Топка котла экранированы гладкими трубами  $\text{Ø}60 \times 3$  мм с шагом 64 мм в количестве 96 шт. в любом экране. Размеры топки в плане 6,23 x 6,23 м. Экраны обладают натрубной тепловой изоляцией с внешней обмазкой, никак не обеспечивающую необходимую газоплотность и приводящую к большим присосам холодного воздуха в котел. Над топкой размещены в два яруса по высоте пакеты конвекционно плоскости нагрева из труб  $\text{Ø}28 \times 3$  мм. Набирается она типовыми секциями, любая из которых содержит в себе стояки из труб  $\text{Ø}83 \times 3,5$  мм и прикрепленные к ним расположенные шахматно U – образные змеевики из труб  $\text{Ø}28 \times 3$  мм. Перпендикулярный шаг в трубах 64мм, продольный – 33 мм. Любой комплект конвекционной плоскости состоит из 96 таких секций.

В главном режиме вода нагревается от 70 до 150°C, потребление воды 1235 т/ч. Для избежания вскипания воды в трубах в различных системах работы котла давление воды в них должно быть никак не меньше 1,2 мПа.

В пиковом режиме работы котла вода нагревается от 104 до 150°C, расход воды 2140 т/ч. Основные характеристики котла представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные характеристики водогрейного котла ПТВМ-100

Наименование	Обозначение	Значение
1	2	3
Номинальная теплопроизводительность	МВт гкал/ч	116,3 100
Избыточное давление воды, на входе: расчетное, минимальное:	МПа (Кгс/см <sup>2</sup> )	2,5 (25) 0,8 (8)
Расход воды в основном режиме: в пиковом режиме:	т/ч	1250 2140
Расход топлива прир. газа (мазута): Расход воздуха	м <sup>3</sup> /ч	14100 (12800) 138960
Сопротивление котла газовое: гидравлическое:	кПа (кгс/м <sup>2</sup> ) мПа (кгс/см <sup>2</sup> )	2,5-3 (250-300) 0,215-0,096 (2,15-0,96)

Окончание таблицы 1.1

1	2	3
Температура уходящих газов на газе: на мазуте:	°С	185 230
Коэф-т полезного действия на газе : на мазуте:	%	88,6 86,8
Объём топочной камеры	м <sup>3</sup>	245
Размеры топочной камеры в плане	мм	6230×6230
Количество газомазутных горелок	шт	16
Избыточное давление перед горелкой газа: мазута:	мПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,02 (0,2) 2 (20)
Площадь поверхности нагрева радиационной: конвективной:	м <sup>2</sup>	224 2960
Габаритные размеры длина: ширина: высота:	м	11,200 10,620 14,600
Масса металлической части	тн	209,6
Завод-изготовитель	ПО «Сибэнергомаш», Белгородский.	

### 1.3 Постановка задачи комплексной модернизации котла

В основу проекта модернизации котла положены следующие технические решения:

- осуществление наружных ограждений топки из цельносварных панелей;
- использование укрупненных малотоксичных двухканальных газомазутных вихревых горелок с расширенным спектром регулировки по воздуху и топливу;
- применение рециркуляции дымовых газов с целью уменьшения выбросов оксидов азота и в тоже время подогрева прибывающего в котел воздуха до положительных температур;
- снижение числа работающих на котле дутьевых вентиляторов с 16 до шести;
- возможность увеличения производительности котла до 120 Гкал/час;

Схема введения поверхностей нагрева котла по воде, каркас котла, отводящие газоходы, монтаж котла в здании сохраняются без изменения.

										лист
										13
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.01.2019.334.22 ПЗ					

В случае работы котла преимущественно на газе, газотурбинном топливе, и лишь кратковременно на мазуте с учетом повышения размера топки, снижения уровня установки горелок и наклоном их вниз под углом  $15^\circ$  и, таким образом, снижения температуры на выходе из топки, уменьшается температура уходящих газов. В целях уменьшения выбросов оксидов азота и синхронного подогрева в зимнее период до положительной температуры прибывающего в котел воздуха применяется рециркуляция дымовых газов на всас вентиляторов.

## 2 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

В век дефицита энергетических ресурсов вопросам энергосбережения уделяется особое внимание. Целью Федерального закона №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» [18] является создание правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Модернизация котельного агрегата ПТВМ-100 в принципе является энергосберегающим мероприятием, потому что приводит к повышению энергетической эффективности работы котла, уменьшению расхода топлива, увеличению коэффициента полезного действия и снижению выбросов.

Ниже приведено более подробное описание технических и компоновочных энергосберегающих решений, примененных при модернизации котла типа ПТВМ-100.

### 2.1 Топочная камера

Топочная камера призматическая открытая. Сечение топки  $6,23 \times 6,23$  м по экранным трубам никак не меняется. Размер топочной камеры возрастает с 248 до  $285 \text{ м}^3$  посредством перемены угла наклона ската холодной воронки с  $45^\circ$  до  $15^\circ$  к горизонтальной плоскости. Перемена угла крена ската, наравне с повышением размера топки даст возможность уменьшить отметку установки горелок и подобным способом убавить температуру на выходе из топки.

Существующая топка экранирована трубами  $\varnothing 60 \times 3$  с шагом 64 мм. Предлагается экранирование топки цельносварными панелями из труб  $\varnothing 60 \times 4$  мм и полосы  $6 \times 20,5$  с шагом 80 мм. На любой из четырех сторон топки устанавливается согласно 3 цельносварные панели. Панели между собою не свариваются.

Конструктивное оформление экранов показано в графической части проекта.

Так как в имеющихся экранах применяются гладкие трубы диаметром  $60 \times 3$  мм с шагом 64 мм, количество одновременно введенных труб в цельносварных панелях с шагом 80 мм несколько снизилось соответственно этому, увеличилась массовая скорость воды в трубах экранов с 1389 до 1806  $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{сек}$ , при сохранении постоянной теплопроизводительности котла.

Гидромеханическое сопротивление непосредственно экранов присутствие этом увеличивается не столь заметно, приблизительно на 0,015 МПа ( $0,15 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ). Схема введения плоскостей нагрева экранов и котла в полном остается

						13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
							14
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			

прежней. Размещение коллекторов экранов сберегается имеющимся, поэтому подводящие и отводящие трубопроводы никак не меняются.

## 2.2 Каркас, площадки и лестницы

Основа котла сохраняется существующий. Небольшое увеличение нагрузок никак не обязано вызвать непопустительных усилий и нарушений устойчивости в составляющих каркаса. Понадобится привнести перемены в площадки для обслуживания горелочных приборов в соответствии с их новейшей компоновкой. В остальном, площадки и лестницы сохраняются существующие.

## 2.3 Горелочное устройство

Учитывая благоприятный опыт эксплуатации в линии котельных агрегатов ТЭС, с целью модернизированного котла ПТВМ-100 предлагаются установке малотоксичные горелки вихревого типа конструкции Всероссийского теплотехнического института, получившие свидетельство соответствия Госстандарта РФ. На котле устанавливаются 6 горелок в единственный уровень по высоте, по три горелки встречно на фронтальной и задней стенках топки. Горелки устанавливаются под углом  $15^\circ$  к горизонтальной плоскости на отметке 5,2 м, на 0,45м ниже отметки горелок нижнего яруса в существующем котле. Тепловая мощность горелки составляет 20 Гкал/ч (23 МВт). Газы рециркуляции подаются на всас вентиляторов. Горелка содержит два канала по газозадушной консистенции – центральный и периферийный, оснащенные лопаточными завихрителями. В периферийный канал подается 60-65% консистенции воздуха и газов рециркуляции, в главный – 40-35%. Потребление консистенции в каналах может регулироваться интегрированными шиберами, позволяющими реализовать его плавное урегулирование в абсолютно всем спектре работы горелок.

Аэродинамическое противодействие горелки приблизительно 2000 Па (200мм.в.ст). Доставка природного газа в топку осуществляется по трубам из малого (растопочного) раздающего коллектора горелки (30-35% расхода газа) и большого коллектора (70-65% расхода газа).

Горелки комплектуются газовыми запальниками, а с целью работы на жидком топливе – механическими или паромеханическими форсунками. Проведенные исследования выявили значительную результативность этой конструкции горелочного устройства; стабильность деятельности в диапазоне 30-100%, отсутствие химического недожога, не существенные выбросы оксидов азота: меньше  $90 \text{ мг/м}^3$  при работе на природном газе и  $150 \text{ мг/м}^3$  при работе на мазуте.

## 2.4 Система рециркуляции дымовых газов

Как известно подача 10-30-% рециркулирующих газов в топку котла является очень эффективным средством уменьшения выбросов оксидов азота. Одновременно удаётся осуществить предварительный подогрев воздуха, посту-

										лист
										15
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

13.03.01.2019.334.22 ПЗ

пающего в дутьевые вентиляторы до положительных температур и избежать обледенения крыльчаток вентиляторов и их разбалансировки. При расчетной доле рециркулирующих газов 15% и температуре холодного воздуха – 34°С поступающая на всас газоздушная смесь нагревается до положительной температуры 2...5°С.

Система рециркуляции дымовых газов представляет собой газоход Ø720 мм, врезанный в существующий газоход котла, непосредственно за конвективной частью и в начало воздуховода, сразу же за регулирующим шибером. В проекте предлагается конструкция воздушного шиберов в виде заслонки, которая управляется либо дистанционно со щита управления, либо вручную, редуктором, установленным на смотровой площадке. Шибер, установленный на самом газоходе рециркуляции, стандартной конструкции, поворотный, с дистанционным управлением и приводом от МЭО. Газоход рециркуляции покрыт тепловой изоляцией из минераловатных матов с окложушкой.

## 2.5 Обмуровка котла

Вместо классических использованных материалов, которые используются для обмуровки водогрейных котлов предлагается высокотемпературный теплоизоляционный огнеустойчивый материал «Вермивол», который предназначен с целью производства огнеупорной теплоизоляции и облегченной огнеупорной футеровки тепловых аппаратов разных сфер промышленности с температурой работы до 1200°С. Использованный материал разработан командой сотрудников ЮУрГУ на базе технического центра «Теплострой».

Материал «Вермивол» наносится на футеруемую поверхность методами мокрого торкретирования, виброукладки или литья при присутствии помощи стандартного оборудования, применяемого при транспортировании растворных и бетонных смесей и нанесения их на покрываемую поверхность. Из данных материалов возможно производство отдельных изделий разной формы (плит, брусьев, цилиндров, полуцилиндров, и т.д.)

Материал «Вермивол» и прочие огнеупорные волокнодержающие смеси готовятся на основе пористых и волокнистых огнеупорных материалов (вермикулита, огнеупорного волокна, простых алюмосиликатных, высокоглинозёмистых, корундовых пористых материалов – пеношамот, сферокорунд и пр.)

В качестве вяжущих в зависимости от наибольшей температуры службы материала и обстоятельств эксплуатации применяется портландцемент, глинозёмистый и высокоглинозёмистый цементы, жидкое стекло, огнеупорная глина и другие.

Приготовление используемого материала выполняется в две стадии: в промышленных обстоятельствах приготавливается сухая смесь установленного состава, а затем непосредственно возле участка применения смешивают с водой в смесителях принудительного воздействия до необходимой для выбранного места укладки консистенции с дальнейшим нанесением на защищаемую поверхность или в формы. В зависимости от вида вяжущего твердение осуществляется при температуре никак не ниже +10°С или совмещают сушку с твердением.

					13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		16







Таблица 3.1 – Перечень конкурентноспособных поставщиков АСУ ТП на базе современных ПТК для электростанций по всей территории Российской Федерации

Фирма	Страна	Наименование ПТК
Westinghouse	США	WDPF-2
Westinghouse	США	Ovation
ABB	Германия	PROCONTROL-P
ABB	Германия	Freelance 2000
Siemens	Германия	Teleperm XP-R, ME, Sicam
НИИ Теплоприбор	Россия	Квинт

Слабое место импортных концепции управления, что следует учитывать при подборе ПТК, это необходимость постоянно прибегать к дорогостоящим услугам компаний, занятых их введением. Для импортных концепций достаточно сложно вводить какие-либо улучшения согласно результатам опыта эксплуатации. С российских концепций, получивших в последнее время признание в энергетике, абсолютным лидером считается ПТК «Квинт», разработанный специалистами Государственного научно-исследовательского института теплоэнергетического приборостроения (ФГУП НИИ Теплоприбор) при разработке которого основной целью ставилась максимальная адаптация его к условиям Российской энергетики [34].

### **3.4 Сравнительный анализ конкурентноспособных поставщиков АСУ ТП для энергетического оборудования на базе ПТК для электростанции РФ с иностранными аналогами**

Проведем сравнительный анализ систем автоматизации «Квинт» отечественного производства и немецкой автоматики фирмы Siemens.

ПТК «Квинт» — российский программно-технический комплекс (ПТК), предназначенный для управления стабильными технологическими процессами на предприятиях тепловой и атомной энергетики.

Комплекс позволяет создавать полномасштабные информационно-управляющие концепции управления технологическими процессами котельного оборудования, реализовывать защиты технологического оборудования, отображать и архивировать информацию о технологическом процессе в реальном масштабе времени, принимать от центрального диспетчерского управления (ЦДУ) управляющие воздействия в соответствии с потребностями Единой энергосистемы России.

Информационный масштаб комплекса практически не ограничен вследствие применения масштабируемой архитектуры концепции управления. Средний информационный размер автоматизируемых систем (один типовый блок ТЭЦ) насчитывает тысячи дискретных и аналоговых датчиков, сотни исполнительных механизмов и сотни элементов защит.



– унифицированное программное обеспечение.

ПТК на базе оборудования Siemens Sicam 1703 также базируется на трехуровневой структуре [41].

Оба сравниваемых продукта автоматизации, равно как иностранного, таким образом и отечественного производства широко распространены на российском рынке. Выбор, как правило, производится заказчиком, в зависимости от предпочтений, предыдущего опыта использования и финансовых вложений. Однако можно выделить ряд преимуществ при сравнении ПТК «Квинт» с ПТК Siemens Sicam. Все методы управления запорной и регулирующей арматурой, двигателями механизмов собственных нужд у отечественной концепции автоматики выполнены с учетом существующих методик управления, все программное обеспечение имеет русскоязычный интерфейс (чего нельзя сказать ни об одной из импортных систем). Благодаря широким возможностям программы разработки операторского интерфейса возможно удовлетворить самые взыскательные требования заказчика при создании АСУ ТП с точки зрения предоставления технологической информации. Среда разработки программного обеспечения загружаемого в контроллеры (управление электрифицированным приводом, система автоматического регулирования (САР), блокировки, технологические защиты, сигнализация) реализована на базе алгоритмических блоков, и не вызывает трудностей при работе с ней. Подобным способом, у ТЭС, эксплуатирующих «Квинт», не возникает проблем с преобразованиями, потребность в которых неизбежно возникает в ходе эксплуатации. Недостатком зарубежных производителей является необходимость постоянно обращаться к производителю и услугам сторонних фирм для возможности внесения изменений и модернизации систем. Это влечет за собой дополнительные расходы.

					13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		22

## 4 ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА ПТВМ-100

Данный раздел является специальной частью, он содержит основные технические расчеты по теме выпускной квалификационной работы. Для возможности сравнения обстоятельств работы модернизируемого и существующего котлоагрегата, и принятия конечных заключений следует тепловые выполнить расчеты котла до и после модернизации.

### 4.1 Характеристика топлива

В котлах на ЧТЭЦ-1 сжигается естественный природный газ Тюменского месторождения. Характеристики элементы этого газа представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Характеристики и компоненты природного газа

Характеристика	Компоненты газа, %					
	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>
$Q_n^c$ , (кДж/м <sup>3</sup> )	98,325	0,15	0,001	0,371	1,107	0,046
33454						

В котле также возможно сжигание мазута в качестве резервного топлива.

### 4.2 Расчет объёмных характеристик продуктов сгорания

Теоретический объём воздуха нужный для сжигания 1 м<sup>3</sup> топлива определим по формуле (4.1):

$$V_0 = 0,0476 \cdot [0,5 \cdot CO + 0,5 \cdot H_2 + 1,5 \cdot H_2S + \sum (m + 0,25 \cdot n) \cdot C_m H_n - O_2], \quad (4.1)$$

где  $m$ ,  $n$  – количество атомов углерода и водорода в химической формуле углеводородов, входящих в состав топлива.

$$V_0 = 0,0476 \cdot [0,5 \cdot 0,046 + (1 + 0,25 \cdot 4) \cdot 98,325 + \\ + (2 + 0,25 \cdot 6) \cdot 0,15 + (3 + 0,25 \cdot 8) \cdot 0,001] = 9,387 \text{ м}^3 / \text{м}^3.$$

Теоретические объёмы продуктов сгорания при  $\alpha = 1$ :  
– объём трёхатомных газов определим по формуле (4.2):

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot [CO_2 + CO + \sum m \cdot C_m H_n] \quad (4.2)$$

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot [0,371 + 1 \cdot 98,325 + 2 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,001] = 0,99 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

									лист
									23
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

13.03.01.2019.334.22 ПЗ

– объём двухатомных газов (равный абстрактному объёму азота) определим по формуле (4.3):

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,01 \cdot N_2 \quad (4.3)$$

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot 9,387 + 0,01 \cdot 1,107 = 7,427 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

– объём водяных паров определим по формуле (4.4):

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot [H_2S + H_2 + \sum 0,5 \cdot n \cdot C_m H_n + 0,124 \cdot d_{2.мл.}] + 0,0161 \cdot V^0, \quad (4.4)$$

где  $d_{2.мл.}$  – влагосодержание топлива, отнесенное к  $1 \text{ м}^3$  сухого газа, при  $t_{2.мл.} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$   $d_{2.мл.}$  можно принять равным  $10 \text{ г}/\text{м}^3$ .

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot [0,046 + 0,5 \cdot 4 \cdot 98,325 + 0,5 \cdot 6 \cdot 0,15 + 0,5 \cdot 8 \cdot 0,001 + 0,124 \cdot 10] + \\ + 0,0161 \cdot 9,387 = 2,135 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Коэффициент излишка воздуха в топке [38] получаем равным  $\alpha^{вх} = 1,1$ .

Присосы воздуха в газоходах котла  $\Delta\alpha$  получаем согласно [38]. Все без исключения полученные значения записываем в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Присосы воздуха в газоходе  $\Delta\alpha$  и расчетный коэффициент избытка воздуха в газоходе  $\alpha''$

Участки газового тракта	$\Delta\alpha$	$\alpha''$
Топка	0,08	1,18
Газоход (после конвективной части)	0,08	1,26

При  $\alpha > 1$  объёмы продуктов сгорания и воздуха различаются от теоретических на значение объёмов воздуха и водяных паров, прибывающих в котёл с избыточным воздухом.

Так как присосы воздуха никак не содержат трехатомных газов, в таком случае объём данных газов  $V_{RO_2}$  от коэффициента излишка воздуха никак не зависит и абсолютно во всех газоходах остаётся постоянным и одинаковым теоретическому.

Расчеты этих объёмов, а также расчет объёмных долей трёхатомных газов  $r_{RO_2}$  и  $r_{H_2O}$  производится по методике описанной в [38]. Результаты расчета оформим в виде таблицы 4.3.

Таблица 4.3 – Расчет действительных объёмов продуктов сгорания

Величина и размерность	Обозначение	Формула или способ определения	Расчетное значение	
			топка	газоход
Расчетный коэффициент избытка воздуха в газоходе	$\alpha''_m$	По таблице 4.2	1,18	1,26
Объём трёхатомных газов ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ )	$V_{RO_2}$	По расчету	0,99	0,99
Объём двухатомных газов ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ )	$V_{N_2}$	$V_{N_2}^0 + (\alpha - 1)V_0$	9,116	9,867
Объём водяных паров ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ )	$V_{H_2O}$	$V_{H_2O} + 0,016(\alpha - 1)V_0$	2,162	2,174
Объём продуктов сгорания ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ )	$V_{\Gamma}$	$V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O}$	12,268	13,031
Объёмная доля трёхатомных газов	$r_{RO_2}$	$V_{RO_2} / V_{\Gamma}$	0,081	0,076
Объёмная доля водяных паров	$r_{H_2O}$	$V_{H_2O} / V_{\Gamma}$	0,176	0,167
Объёмная доля трёхатомных газов и водяных паров	$r_n$	$r_{RO_2} + r_{H_2O}$	0,257	0,243

### 4.3 Теплосодержание воздуха и продуктов сгорания

Энтальпия либо теплосодержание теоретического объёма воздуха и продуктов сгорания, отнесённые к  $1\text{м}^3$  сжигаемого горючего при температуре воздуха или продуктов сгорания  $t, \text{C}^{\circ}$ , кДж/кг рассчитываются по формулам (4.5) – (4.9):

$$I_{\text{в}}^0 = V_0(ct)_{\text{в}} ; \quad (4.5)$$

$$I_{RO_2}^0 = V_{RO_2}(cv)_{RO_2} ; \quad (4.6)$$

$$I_{H_2O}^0 = V_{H_2O}(cv)_{H_2O} ; \quad (4.7)$$

$$I_{N_2}^0 = V_{N_2}(cv)_{N_2} ; \quad (4.8)$$



Таблица 4.5 – Энтальпия воздуха и продуктов сгорания

Температура, °С	$I_2^0$	$I_2^0$	Участки газового тракта			
			Топка		Газоход	
			$I$	$\Delta I$	$I$	$\Delta I$
100	1454	1239			1776	1806
200	2933	2497			3582	
300	4453	3783				
400	6051	5088				
500	7613	6421				
600	9246	7791				
700	10921	9190				
800	12655	1067	14564			
900	14418	12025	16583	2019		
1000	16216	13480	18642	2059		
1100	18019	14972	20714	2072		
1200	19829	16465	22793	2079		
1400	23590	19487	27098	4305		
1600	27389	22557	31449	4351		
1800	31265	25617	35876	4427		
2000	35191	28762	40368	4492		
2200	39160	31906	44903	4535		

#### 4.4 Расчет объёмов и энтальпий продуктов сгорания при рециркуляции газов

Определим объемы и энтальпии продуктов сгорания топлива при внедрении рециркуляции газов.

Рециркуляция газов в расчетах объёмов и энтальпий продуктов сгорания учитывается в газовом тракте с зоны ввода рециркулирующих газов в газоход котла вплоть до зоны их отбора. Показатель рециркуляции устанавливает долю газов, используемых с целью рециркуляции, определяется по формуле (4.11):

$$r_{rc} = V_{rc} / V''_{г.отб}, \quad (4.11)$$

где  $V_{rc}$  и  $V''_{г.отб}$  – объём газов, отбираемых на рециркуляцию, и остающийся объём за участком отбора газов.

Рекомендуемые значения  $r_{rc} = 0,05 \dots 0,35$  – в зависимости от температуры окружающего воздуха, поскольку основное, из-за чего применяется рециркуляция дымовых газов на водогрейных котлах типа ПТВМ-100 – обмерзание лопаток рабочих колес дутьевых вентиляторов типа Ц9-57, при низких температурах наружного воздуха.

Вторая причина применения рециркуляции – снижение токсичности (содержания  $NO_x$ ) уходящих газов.

Газы на рециркуляцию на водогрейных котлах отбираются из газохода после конвективных поверхностей нагрева и подаются на вход общего воздуховода после регулирующегошибера или заслонки.

Поскольку часть газохода после конвективной части котла металлическая, сварная – т.е. газоплотная, следовательно, присосы холодного воздуха в ней исключены, а это значит что, коэффициент избытка воздуха в газоходе за конвективной частью котла равен коэффициенту избытка воздуха газов подаваемых на рециркуляцию:  $\alpha_r = \alpha_{rc} = 1,26$  [38]

Тогда усредненный коэффициент излишка воздуха в топке при вводе в неё рециркулирующих газов определяется по формуле (4.12):

$$\alpha_m^{pc} = \frac{(\alpha_m + r_{rc} \alpha_{rc})}{(1 + r_{rc})}. \quad (4.12)$$

Значения усредненного коэффициента избытка воздуха в топке в зависимости от коэффициента рециркуляции сведены в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Значения  $\alpha_m^{pc}$

$r_{rc}$	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
$\alpha_m^{pc}$	1,184	1,187	1,19	1,193	1,196	1,2

На абсолютно всем участке газового тракта котла от зоны ввода рециркулирующих газов в топку вплоть до зоны их отбора объём газов превышает расчетный по условиям горения топлива. Часть рециркулирующих газов, поступающих в топку определяется коэффициентом рециркуляции  $r_{pc}$ . С целью определения объёма газов рециркуляции  $V_{pc}$ , сперва находят остающийся объём газов за местом отбора (4.13):

$$V''_{z.om.} = V_z^0 + (\alpha_{z.om.} - 1)V_g^0, \quad (4.13)$$

где  $\alpha_{г.от}$  – показатель излишка воздуха за поверхностью, в каком месте производится отбор газов в рециркуляцию. В нашем случае  $\alpha_{г.от} = \alpha_{г.} = 1,26$ .

Тогда (4.14):

$$V_{pc} = r_{pc} V''_{z.om.} \quad (4.14)$$

И объём газов в газоходах котла с учетом рециркуляции определяется по формуле (4.15):

$$V_{г.пц} = V_{г.} + V_{pc}; \quad (4.15)$$

где  $V_{г.}$  – полный объём газов без рециркуляции, м<sup>3</sup>/кг;

Окончательно объём газов в газоходах котла с учетом рециркуляции определяется по формуле (4.16):

$$V_{z.пц} = V_z + r_{pc} [V_z^0 + (\alpha_{z.om.} - 1)V_g^0]; \quad (4.16)$$

Или (4.17):

$$V_{z.пц} = V_z + r_{pc} [V_z^0 + 0,26 \cdot V_g^0]; \quad (4.17)$$

где  $V_z^0 = V_{RO_2}^0 + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0 = 10,552 \text{ м}^3/\text{м}^3$

Значения объёмов газа в газоходах котла с учетом рециркуляции занесены в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Значения объёмов газа в газоходах котла с учетом рециркуляции

$r_{pc}$	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
$V_{г.пц}$	13,69	14,35	15,00	15,69	16,32	16,97

#### 4.5 Тепловой баланс котла и расход топлива

Все данные по расчету теплового баланса котла и расходу топлива сведены в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Расчет теплового баланса котла

Величина и размерность	Обозначение	Формула или способ определения	Расчетное значение
Располагаемая теплота топлива, кДж/м <sup>3</sup>	$Q_p^p$	$Q_p^p = Q_n^c$	33454
Потеря теплоты от хим. неполноты сгорания, %	$q_3$	Принимается	0
Потеря теплоты от механического недожега, %	$q_4$	Принимается	0
Тем-ра уход. газов, °С	$t_{у.г}$	Задано	185
Энтальпия уход. газов, кДж/м <sup>3</sup>	$I_{у.г}$	$I-s$ – диаграмма, [38]	3310
Энтальпия воздуха в котельной, кДж/м <sup>3</sup>	$I_{х.в.}^0$	$I-s$ – диаграмма, [38]	122
Температура воздуха в котельной, °С	$t_{х.в}$	Задано	10
Потеря теплоты с уходящими газами, %	$q_2$	$(I_{у.г} - \alpha_{у.г} \cdot I_{х.в.}^0) \times (100 - q_4) / Q_n^c$	9,4
Потеря тепла в окружающую среду, %	$q_5$	По [38]	1,3
Сумма потерь, %	$\Sigma q$	$q_2 + q_3 + q_4 + q_5$	9,4+1,3=10,7
КПД котла, %	$\eta_{к.а}$	$100 - \Sigma q$	10 – 10,7 = 89,3
Коэф-т сохранения тепла	$\varphi$	$1 - (q_5/100)$	0,987
Расход топлива, м <sup>3</sup> /с	$B_p$	$(Q100) / (Q_n^c \eta_{к.а})$	3,79

#### 4.6 Конструктивные характеристики топочной камеры

По конструктивным характеристикам топки рассчитываем только лишь абсолютную область её стенок и площадь лучевоспринимающих плоскостей.

Топка котла ПТВМ-100 призматическая, отвесная открытого типа. Стены топки котла экранированы гладкими трубами  $\varnothing 60 \times 3$  мм с шагом 64мм. Размеры топки в плане 6,23х6,23 м. В нижней части фронтальной и задней экраны образуют под топку в варианте холодной воронки.

Котел снабжен 16 газомазутными горелками, размещенными по 8 единиц на фронтальной и задней стенках котла и 16 дутьевыми вентиляторами. Горелки размещены в 2 яруса, 6 горелок в нижнем ярусе и 2 – в верхнем. Конструктивные характеристики топочной камеры представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Конструктивные характеристики топочной камеры

Величина и размерность	Обозначение	Формула или способ определения	Расчетное значение
Объем топочной камеры, м <sup>3</sup>	$V_T$	По конструктивным размерам	248
Тепловое напряжение объема, кВт/м <sup>3</sup> , расчетное	$q_v$	$q_v = \frac{B \cdot Q_H^c}{V_m}$	512
Количество горелок, шт	$n$	По конструкции котла	16
Теплопроизводительность горелки, МВт	$Q_T$	$1,25(B \cdot Q_H^c / n)10^{-3}$	$1,25(3,79 \times 33454/16)10^{-3} = 9,9$

Расчет конструктивных размеров топки представлен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Конструктивные размеры топки

Величина и размерность	Обозначение	Стены топки			Выходное окно	Суммарная площадь
		Фронт. И свод	Боковая	Задняя и свод		
1	2	3	4	5	6	7
Общая площадь стен и выходного окна, м <sup>2</sup>	$F_{ст}$	54,0	38,6×2=77,2	54,0	38,8	224
Расстояние между осями крайних труб, м	$B$	6,08	6,2	6,08	6,23	-
Освещенная длина труб, м	$l_{осв.}$	8,88	6,3	8,88	6,23	-
Площадь, занятая лучевоспринимающей поверхностью, м <sup>2</sup>	$F$	50,1	71,5	50,1	35,9	207,6
Наружный диаметр экранных труб, мм	$d$	60	60	60	28	-

Окончание таблицы 4.10

1	2	3	4	5	6	7
Шаг экранных труб, мм	$S$	64	64	64	-	-
Расстояние от оси экранных труб до обмуровки, мм	$l$	30	30	30	-	-
Относительный шаг	$S/d$	1,07	1,07	1,07	-	-
Отношение	$l/d$	0,5	0,5	0,5	-	-
Угловой коэффициент экрана	$X$	0,99	0,99	0,99	1,00	-
Площадь лучевоспринимающей поверхности экранов, м <sup>2</sup>	$H_{л}$	49,6	70,8	49,6	35,9	205,9

#### 4.7 Тепловой расчет топочной камеры

Результаты теплового расчета топочной камеры оформлены в таблицу 4.11.

Таблица 4.11 – Расчет теплообмена в топке.

Величина и размерность	Обозначение	Формула или способ определения	Результаты расчета
Степень экранирования	$\psi$	$\xi_{откр} H_{л} / F_{ст}$	$0,65 \times 205,9 / 224 = 0,597$
Эффективная толщина излучающего слоя пламени, м	$S$	$3,6 V_T / F_{ст}$	$3,6 \times 224 / 209,5 = 3,85$
Полная высота топки, м	$H_T$	По констр. хар-м	7,5
Высота расположения горелок, м	$h_T$	По констр. хар-м	2,85
Относительный уровень расположения горелок,	$x_T$	$h_T / H_T$	0,38
Параметр, учитывающий характер распределения пламени в топке	$M$	$0,54 - 0,2 x_T$	0,464
Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки	$\alpha''_m$	Таблица 4.3	1,18
Присос воздуха в топке	$\Delta \alpha_T$	Таблица 4.3	0,08
Температура воздуха, подаваемого на горение, °С	$t_B$	Задано	10

Продолжение таблицы 4.11

1	2	3	4
Энтальпия воздуха, кДж/м <sup>3</sup>	$I_B$	$V_6^0 (ct)_B$	122
Температура воздуха присоса, °С	$t_{пр}$	Задано	18
Энтальпия возд. присоса, кДж/м <sup>3</sup>	$I_{в.пр}$	$V_6^0 (ct)_B$	213
Количество теплоты, вносимое в топку воздухом, кДж/м <sup>3</sup>	$Q_B$	$(\alpha_T - \Delta\alpha_T) I_B + (\Delta\alpha_T) I_{в.пр}$	151
Полезное тепловыделение в топке, кДж/м <sup>3</sup>	$Q_T$	$\frac{Q_p^p (100 - q_3 - q_4)}{(100 - q_4)} + Q_6$	33605
Адиабатическая температура горения, °С	$T_a$	По таблице	1683
Температура газов на выходе из топки, °С	$T_m''$	Принимается с последующ. уточнением	1200
Энтальпия газов на выходе из топки, кДж/м <sup>3</sup>	$I_m''$	Таблица 4.5	22793
Средняя суммарная теплоёмкость продуктов горения	$V_{ср}$	$V_{ср} = \frac{Q_m - I_m''}{T_a - T_m''}$	22,39
Объёмные доли: – водяных паров – трёхатомных газов – суммарная	$r_{H_2O}$ $r_{RO_2}$ $r_n$	Таблица 4.3	0,176 0,081 0,257
Суммарная поглощающая способность трёхатомных газов и водяных паров, мПа	$p_n S$	$pr_n S$	0,099
Коэффициент ослабления лучей трёхатомными газами, 1/ммПа	$k_T$	[38]	3,7
Коэффициент ослабления лучей топочной средой, 1/ммПа	$k$	$k_T r_n$	0,951
Степень черноты факела,	$a_\phi$	[38]	0,39
Суммарная сила поглощения топочного объёма	$kpS$	$k_T pS$	1,42
Степень черноты топки	$a_T$	[38]	0,52
Тепловая нагрузка стен топки, кВт/м <sup>2</sup>	$q_F$	$q_F = \frac{B_p \cdot Q_m}{F_{ст}}$	568,6
Температура газов на выходе из топки, °С	$T_m''$	[38]	1200
Энтальпия газов на выходе из топки, кДж/м <sup>3</sup>	$I_m''$	Таблица 4.5	22793

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

13.03.01.2019.334.22 ПЗ

лист

33



объема топки даст возможность уменьшить отметку установки горелок и подобным способом снизить температуру на выходе из топки.

Конструктивные характеристики топочной камеры представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Конструктивные характеристики топочной камеры

Величина и размерность	Обозначение	Формула или способ определения	Расчетное значение
Объем топочной камеры, м <sup>3</sup>	$V_T$	По конструктивным размерам	285
Тепловое напряжение объема, кВт/м <sup>3</sup> , расчетное	$q_v$	$q_v = \frac{B \cdot Q_n^c}{V_m}$	440
Количество горелок, шт	$n$	По конструкции котла	6
Теплопроизводительность горелки, МВт	$Q_{\Gamma}$	$1,25(BQ_n^c/n)10^{-3}$	$1,25(3,79 \times 33454/6)10^{-3} = 26,4$

Расчет конструктивных размеров топки представлен в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Конструктивные размеры топки

Величина и размерность	Обозначение	Стены топки			Выходное окно	Суммарная площадь
		Фронт. и свод	Боковая	Задняя и свод		
1	2	3	4	5	6	7
Общая площадь стен и выходного окна, м <sup>2</sup>	$F_{\text{ст}}$	59,2	$42,9 \times 2 = 85,8$	59,2	38,8	243
Расстояние между осями крайних труб, м	$B$	6,08	6,2	6,08	6,23	–
Освещенная длина труб, м	$l_{\text{осв}}$	9,74	6,92	9,74	6,23	–
Площадь, занятая лучевоспринимающей поверхностью, м <sup>2</sup>	$F$	59,2	85,8	59,2	35,9	240,1
Наружный диаметр экранных труб, мм	$d$	60	60	60	28	–

Продолжение таблицы 4.14

1	2	3	4	5	6	7
Шаг экранных труб, мм	$S$	80	80	80	–	–
Расстояние от оси экранных труб до обмуровки, мм	$l$	30	30	30	–	–
Относительный шаг	$S/d$	1,33	1,33	1,33	–	–
Отношение	$l/d$	0,5	0,5	0,5	–	–
Угловой коэффициент экрана	$X$	0,99	0,99	0,99	1,00	–
Площадь лучевоспринимающей поверхности экранов, м <sup>2</sup>	$H_{л}$	58,6	84,9	58,6	35,9	237,9

Тепловой расчет топочной камеры из цельносварных панелей представлен в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Расчет теплообмена в топке

Величина и размерность	Обозначение	Формула или способ определения	Результаты расчета
1	2	3	4
Степень экранирования	$\psi$	$\xi_{\text{откр}} H_{л} / F_{\text{ст}}$	$0,65 \cdot 237,9 / 243 = 0,64$
Эффективная толщина излучающего слоя пламени, м	$S$	$3,6 V_T / F_{\text{ст}}$	$3,6 \cdot 285 / 243 = 4,22$
Полная высота топки, м	$H_T$	По констр. хар-м	7,5
Высота расположения горелок, м	$h_T$	По констр. хар-м	1,45
Относительный уровень расположения горелок	$x_T$	$h_T / H_T$	0,19
Параметр, учитыв-й характер распределения пламени в топке	$M$	$0,54 - 0,2 x_T$	0,502
Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки	$\alpha_m''$	Таблица 4.3	1,11
Присос воздуха в топке	$\Delta \alpha_T$	Таблица 4.3	0,01
Температура воздуха, подаваемого на горение, °С	$t_B$	Задано	10

Продолжение таблицы 4.15

1	2	3	4
Энтальпия воздуха, кДж/м <sup>3</sup>	$I_B$	$V_e^0(ct)_B$	122
Тем-ра воздуха присоса, °С	$t_{пр}$	Задано	18
Энтальпия возд. присоса, кДж/м <sup>3</sup>	$I_{B.пр}$	$V_e^0(ct)_B$	213
Количество теплоты, вносимое в топку воздухом, кДж/м <sup>3</sup>	$Q_B$	$(\alpha_T - \Delta\alpha_T) I_B + (\Delta\alpha_T) I_{B.пр}$	136
Полезное тепловыделение в топке, кДж/м <sup>3</sup>	$Q_T$	$\frac{Q_p^p(100 - q_3 - q_4)}{(100 - q_4)} + Q_e$	33605
Адиабатическая температура горения, °С	$T_a$	По таблице	1683
Температура газов на выходе из топки, °С	$T_m''$	Принимается с последующ. уточнением	1200
Энтальпия газов на выходе из топки, кДж/м <sup>3</sup>	$I_m''$	Таблица 4.5	22793
Средняя суммарная теплоёмкость продуктов горения	$V_{c_{cp}}$	$V_{c_{cp}} = \frac{Q_m - I_m''}{T_a - T_m''}$	22,39
Объёмные доли: – водяных паров – трёхатомных газов – суммарная	$r_{H_2O}$ $r_{RO_2}$ $r_n$	Таблица 4.3	0,176 0,081 0,257
Суммарная поглощающая способность трёхатомных газов и водяных паров, МПа	$p_n S$	$pr_n S$	0,11
Коэффициент ослабления лучей трёхатомными газами, 1/ммПа	$k_T$	[38]	3,7
Коэффициент ослабления лучей топочной средой, 1/МПа	$k$	$k_T r_n$	0,951
Степень черноты факела,	$a_\phi$	[38]	0,39
Суммарная сила поглощения топочного объёма	$kpS$	$k_T pS$	1,56
Степень черноты топки	$a_T$	[38]	0,52
Тепловая нагрузка стен топки, кВт/м <sup>2</sup>	$q_F$	$q_F = \frac{B_p \cdot Q_m}{F_{cm}}$	524,1

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

13.03.01.2019.334.22 ПЗ

лист

37

Окончание таблицы 4.15

1	2	3	4
Температура газов на выходе из топки, °С	$T_m''$	[38]	1200
Энтальпия газов на выходе из топки, кДж/м <sup>3</sup>	$I_m''$	Таблица 4.5	22793
Общее тепловосприятие топки, кДж/м <sup>3</sup>	$Q_m^l$	$Q_m^l = \varphi(Q_m - I_m'')$	10704
Средняя удельная тепловая нагрузка лучевоспринимающих поверхностей, кВт/м <sup>2</sup>	$q_l^{cp}$	$q_l^{cp} = \frac{B_p \cdot Q_m^l}{H_l}$	170,5

Из расчетов видно, что теплонапряженность топочного объема снизилась с 512 до 440 кВт/м<sup>3</sup>, т.е. на 16,4%.

#### 4.9 Расчет конвективной части котла

Расчет конвективной поверхности нагрева котла представлен в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Расчет теплообмена конвективной поверхности нагрева

Величина и размерность	Обозначение	Формула или способ определения	Результаты расчета
Относительный поперечный шаг труб	$S_1/d$	По конструктивным характеристикам	2,36
Относительный продольный шаг труб	$S_2/d$	По конструктивным характеристикам	1,14
Суммарная поверхность нагрева	$H$	То же	2960
Живое сечение для прохода газов	$F$	То же	6,5
Живое сечение для прохода воды	$f$	То же	0,54
Число рядов по ходу газов	$z$	То же	24
Эффективная толщина излучающего слоя	$S$	То же	0,0735
Объем продуктов сгорания (м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> )	$V_r$	$V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O}$	13,031
Объемная доля трёхатомных газов	$r_{RO_2}$	$V_{RO_2} / V_2$	0,076

Продолжение таблицы 4.16

1	2	3	4
Объёмная доля водяных паров	$r_{H_2O}$	$V_{H_2O} / V_2$	0,167
Объёмная доля трёхатомных газов и водяных паров	$r_n$	$r_{RO_2} + r_{H_2O}$	0,243
Температура газов на входе в конвективную часть, °С	$g'$	Из расчета топки	1200
Энтальпия газов на входе в конвективную часть, кДж/м <sup>3</sup>	$I_\Gamma$	По таблице 3.5	2960
Тепловосприятие по балансу	$Q_6$	$Q_6 = \varphi(I' - I'' + I_{np})$	18640
Температура газов на выходе из конвективной части, °С	$g''$	Предварительно принята	185
Энтальпия газов на выходе, кДж/м <sup>3</sup>	$I''_к$	Таблица 3.5	2390
Температура воды на входе, °С	$t'$	То же	70
Температура воды на выходе, °С	$t''$	То же	150
Наибольший температурный напор, °С	$\Delta t_6$	$\Delta t_6 = g' - t'$	1130
Наименьший температурный напор, °С	$\Delta t_m$	$\Delta t_m = g'' - t''$	35
Средний температурный напор, °С	$\Delta t_{cp}$	$\Delta t_{cp} = \frac{(\Delta t_6 - \Delta t_m)}{2,31g \left( \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m} \right)}$	315
Средняя температура газов, °С	$g_{cp}$	$g_{cp} = 0,5(g' + g'')$	583
Секундный расход газов, м <sup>3</sup> /с	$V_2^{сек}$	$V_2^{сек} = \frac{V_2 B_p (g_{cp} + 273)}{273}$	155
Средняя скорость газов, м/с	$\omega_{cp}$	$\omega_{cp} = \frac{V_2^{сек}}{F}$	23,8
Коэффициент теплоотдачи конвекцией, кВт/м <sup>2</sup> ·К	$\alpha_k$	По [38]	118,8
Тепловое напряжение поверхности нагрева, кВт/м <sup>2</sup>	$q$	$q = \frac{B_p Q_6}{H}$	23,87
Коэф-т загрязнения, м <sup>2</sup> ·К/кВт	$\varepsilon$	По [38]	0,0012
Коэффициент ослабления лучей, 1/м·мПа	$K_\Gamma$	По [38]	5,5
Степень черноты газов	$a$	По [38]	0,1

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

13.03.01.2019.334.22 ПЗ

лист

39

Окончание таблицы 4.16

1	2	3	4
Суммарная сила поглощения потока	$kPS$	$k_r P_n S$	0,1
Коэффициент теплоотдачи излучением, кВт/м <sup>2</sup> ·град	$\alpha_l$	$ac_s \alpha_l^H$	6,43
Коэффициент теплоотдачи от газов к воде, кВт/м <sup>2</sup>	$k$	$k = \frac{(\alpha_k + \alpha_l)}{1 + \varepsilon(\alpha_k + \alpha_l)}$	108,87
Тепловосприятие поверхности, кДж/м <sup>3</sup>	$Q_k$	$Q_{\delta} = \frac{kH\Delta t}{B_p}$	19011
Расхождение с ранее принятым, %	$\Delta$	$\Delta = \frac{Q_m - Q_{\delta}}{Q_{\delta}} \cdot 100$	0,27

#### 4.10 Определение невязки теплового баланса

Расчет невязки теплового баланса котла представлена в таблице 3.17.

Таблица 3.17 – Невязка теплового баланса

Величина и размерность	Обозначение	Формула или способ определения	Результаты расчета
Полезно используемое тепло от располагаемого, кДж/м <sup>3</sup>	$Q''$	$Q'' = Q_p^p \eta_{ка} \cdot 0,01$	29874
Полезно используемое тепло в топке, кДж/м <sup>3</sup>	$Q_T$	Из расчета	10704
Полезно используемое тепло в конвективной части, кДж/м <sup>3</sup>	$Q_k$	Из расчета	19011
Сумма полезно используемого тепла, кДж/м <sup>3</sup>	$Q$	$Q_T + Q_k$	29715
Расчетная невязка, кДж/м <sup>3</sup>	$\Delta Q$	$\Delta Q = Q'' - Q(1 - q_4) \cdot 100$	159
Относительная невязка, %		$\frac{\Delta Q \cdot 100}{Q_p^p}$	0,48

Полученное значение невязки термического равновесия никак не превышает допустимого значения (0,5 %), поэтому расчет можно считать завершенным.

## 5 НАУЧНАЯ ЧАСТЬ

### 5.1 Суть метода рециркуляции дымовых газов

Рециркуляция продуктов сгорания считается одним из наиболее распространенных способом уменьшения числа возникающих оксидов азота.

Ранее этот метод рассматривался, в основном, только лишь как средство регулирования температуры чрезмерного разогретого пара. При этом котел рассчитывался таким способом, чтобы при номинальной нагрузке он эксплуатировался с наименьшей загрузкой дымососов рециркуляции, а при сокращении нагрузки количество рециркулирующих дымовых газов увеличилось бы с целью поддержания постоянной температурой перегретого пара.

Принципиальная схема рециркуляции дымовых газов котла представлена на рисунке 5.1.

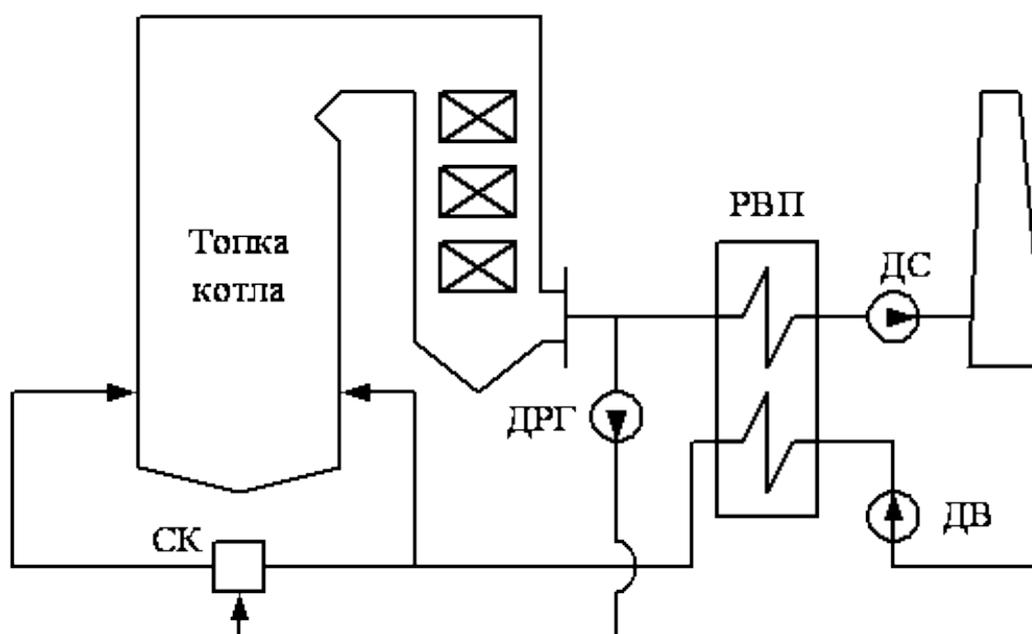


Рисунок 5.1 – Принципиальная схема рециркуляции дымовых газов котла с использованием дымососов рециркуляции газов: ДРГ – дымосос рециркуляции газов; ДВ – дутьевой вентилятор; ДС – дымосос; РВП – регенеративный воздухоподогреватель; СК – смесительная камера

Эффективность подавления формирования оксидов азота при вводе газов рециркуляции определяется соответствующими критериями:

- местом отбора газов на рециркуляцию;
- условиями их ввода в топочную камеру;
- степенью рециркуляции  $r$ , %;
- распределением газов рециркуляции в соответствии с объемом топочной камеры;
- состоянием котла.

Имеется несколько методов ввода газов рециркуляции в топку:

- в под (нижней части) топки;
- в шлиц под горелками;
- в воздухопровод горячего воздуха;
- непосредственно в горелочное устройство в один из воздушных потоков или между потоками воздуха;
- в горелку в поток топлива.

Эффективность снижения выбросов оксида азота при осуществлении этих способов существенно различается. График зависимости концентрации оксидов азота при сжигании природного газа от метода ввода газов рециркуляции показан на рисунке 5.2.

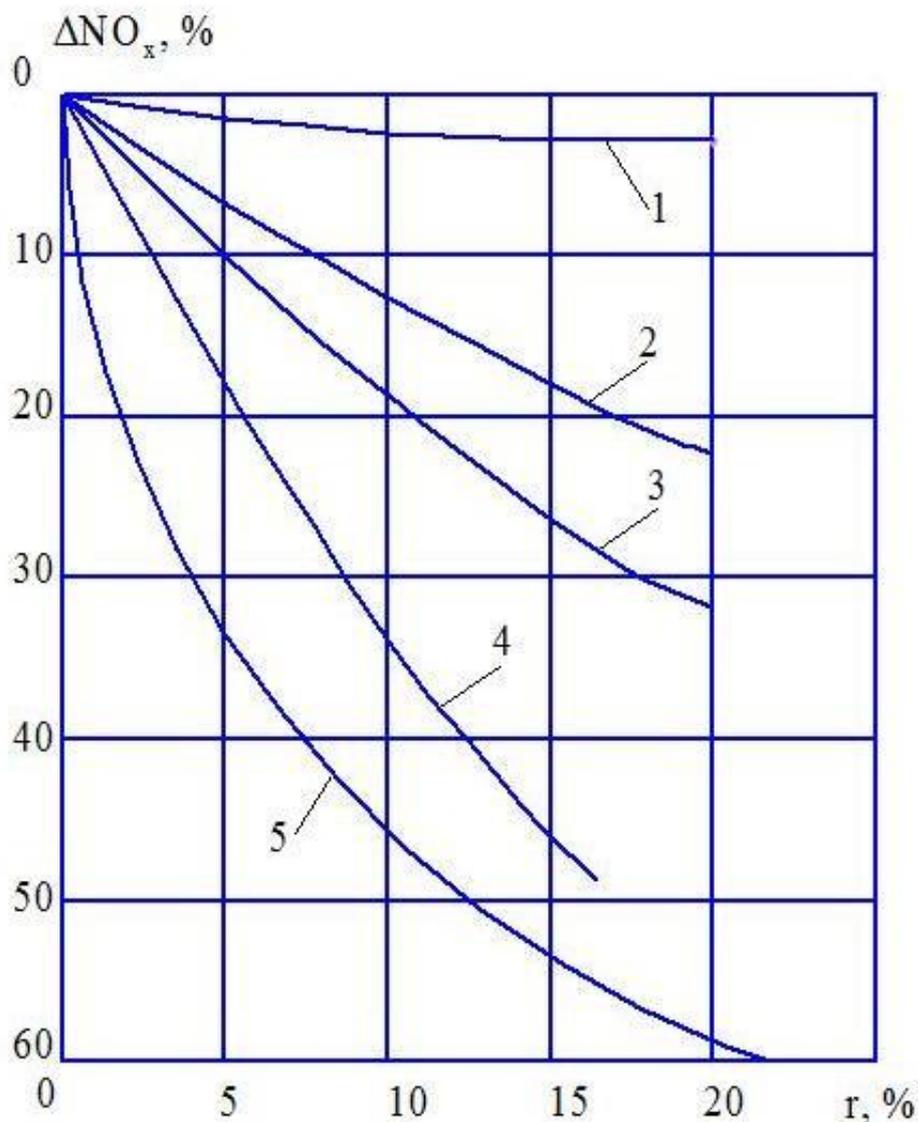


Рисунок 5.2 – Влияние способа ввода газов рециркуляции на снижение концентрации оксидов азота при сжигании природного газа: 1 – через шлицы в под топки; 2 – через шлицы под горелками; 3 – во вторичный воздух; 4 – в воздухопровод перед горелками; 5 – в топливо

Использование рециркуляции предоставляет вероятность регулировать теплоотдачу к топочным экранам и температуру перегретого пара, сближать характери-

стики работы котлов при сжигании разных топлив, например, жидких и газообразных.

Ввод рециркулирующих газов в топочную камеру приводит к сравнительно малому сокращению КПД котла (0,01–0,03 % на 1 % рециркулирующих газов), однако показывает возможности унификации котлов по горючему.

Наряду с явными плюсами, к которым следует отнести защиту топочных экранов от перегрева, регулирование перегретого пара, возможность унификации котлов по топливу, а помимо этого возможность снижения образования оксидов азота, применение рециркуляции связано с определенными трудностями, которые обязаны быть учтены. К таким трудностям следует причислить потребность в особом рециркуляционном дымососе и в газоходах. Помимо этого, данное порождает увеличение сопротивления воздушного тракта и вероятность нарушения стабилизации пламени или появление сажи оксида углерода при чрезмерной степени рециркуляции. В настоящий период рециркуляция газов используется в мощных котлах энергоблоков, работающих на угольной пыли, мазуте и природном газе. Весьма широко применяется рециркуляция и в иностранных котлах.

Рециркуляция дымовых газов в топочную камеру оказывает большое влияние на результирующую концентрацию оксидов азота, а помимо этого на изменение, как температуры, таким образом и концентрации окислителя в зоне горения.

При помощи режима с  $\alpha > 1,04$  (в районе экономайзера) токсичность продуктов сгорания определяется только выходом оксида азота и серы.

С уменьшением  $\alpha_{в.э}$  от 1,09 до 1,01 концентрация  $\text{NO}_x$  снижается в 2 раза, но возрастает содержание сажи и 3,4-бенз(а)пирена.

Применение рециркуляции газов общий канал или в канал первичного воздуха на котельных агрегатах, уже оснащенных рециркуляционными дымососами и каналами, требует незначительной модернизации и может найти самое широкое применение.

Эффективность рециркуляции тем больше, чем выше температура в зоне горения. Она снижается при:

- снижении нагрузки котла;
- снижении температуры горения топлива;
- возрастание коэффициента избытка воздуха;
- возрастание содержания азотсодержащих соединений в топливе;

Наибольшая эффективность рециркуляции имеет место при сжигании природного газа при наименьшей нагрузке топочной камеры и малых  $\alpha$ .

При подаче 1 % газов рециркуляции КПД котла электростанций для средних условий снижается на 0,02 % [42].

## 5.2 Цель исследования

Данный раздел ВКР посвящен изучению влияния содержания дымовых газов (доли рециркуляции) в дутьевом воздухе на образование оксидов в топке котла и определению оптимального соотношения доли рециркуляции, которая обеспечивает приемлемый уровень снижения выбросов оксидов азота при умеренных затратах энергии на обеспечение требуемого расхода смеси воздуха и дымовых газов.

					13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		43

### 5.3 Объект и методы исследования

Объектом исследования является рассматриваемый в выпускной квалификационной работе водогрейный электрокотел ПТВМ-100.

Котел башенный, навесной, трубопрямоточный, рассчитанный на работу с естественной тягой. Котел снабжен 16 газомазутными горелками, расположенными согласно 8 единиц на передней и задней стенках котла и 16 дутьевыми вентиляторами. Горелки размещены в 2 яруса, 6 горелок в нижнем ярусе и 2 – в верхнем. Любую горелку обслуживает личный вентилятор. Подогрев прибывающего в котел воздуха никак не предусматривается. Регулирование производительности котла выполняется путем отключения и введения единичных горелок. Топка котла экранированы гладкими трубами  $\varnothing 60 \times 3$  мм с шагом 64 мм в числе 96 шт. в каждом экране. Масштабы топки в плане 6,23 x 6,23 м. Экраны обладают натрубной тепловой изоляцией с внешней обмазкой, никак не обеспечивающую достаточную газоплотность и приводящую к большим присосам холодного воздуха в котел. Над топкой размещены в 2 яруса согласно высоте пакеты конвективной поверхности нагрева из труб  $\varnothing 28 \times 3$  мм. Набирается она стандартными секциями, каждая из которых содержит в себе стояки из труб  $\varnothing 83 \times 3,5$  мм и прикрепленные к ним расположенные шахматно U – образные змеевики из труб  $\varnothing 28 \times 3$  мм. Поперечный шаг в трубах 64мм, осевой – 33 мм. Любой комплект конвекционной плоскости состоит из 96 подобных секций.

Влияние рециркуляции дымовых газов на эмиссию оксидов азота исследуем с помощью проведения анализ работы топки котла ПТВМ-100 на номинальном режиме без системы рециркуляции дымовых газов. Было принято, что горелки работают при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1,05$ , номинальной тепловой мощности  $Q_{\phi} = Q = 100$  Гкал/ч = 419 ГДж/ч.

Расчет выбросов оксидов азота в кг/с выполняется по эмпирической формуле (5.1):

$$M = 0,34 \cdot 10^{-7} \cdot k \cdot B \cdot Q_n^p \cdot (1 - q_4 / 100) \cdot \beta_1 (1 - \varepsilon_1 r) \cdot \beta_1 \cdot \beta_1 \cdot \varepsilon_2, \quad (5.1)$$

где  $k$  – показатель, характеризующий выход оксидов азота в кг на тонну условного топлива; для водогрейных котлов мощностью наиболее 120 гДж/ч определяется согласно формуле (5.2):

$$k = 2,5 Q_{\phi} / (84 + Q), \quad (5.2)$$

где  $Q_{\phi}$  и  $Q$  – фактическая и номинальная тепловая мощность котла, ГДж/ч;

$\beta_1$  – коэффициент, учитывающий влияние содержания азота в топливе на выходе оксидов азота, при  $\alpha_T = 1,05$  принимают при сжигании газа  $\beta_1 = 0,9$ ;

$\beta_2$  – коэффициент, учитывающий конструкцию горелок,  $\beta_2 = 0,85$ ;

$\beta_3$  – коэффициент, учитывающий вид шлакоудаления; при сжигании газа  $\beta_3 = 1$ ;

$\varepsilon_1$  – коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих газов;  $\varepsilon_1 = 0,025$  при вводе газа рециркуляции в воздушное дутьё;

					13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		44

$\varepsilon_2$  – коэффициент, характеризующий снижение выброса оксидов азота при подаче части воздуха помимо основных горелок,  $\varepsilon_2=1$ ;

$r$  – степень рециркуляции дымовых газов.

$$k=2,5 \cdot 419/(84+419)=2,08 \text{ кг/т.у.т}$$

$$M_0=0,34 \cdot 10^{-7} \cdot 2,08 \cdot 3,89 \cdot 33454 \cdot 0,9 \cdot 0,85=7,04 \times 10^{-3} \text{ кг/с}=7,04 \text{ г/с}$$

Результаты базового варианта взяты за основу при изучении влияния рециркуляции дымовых газов на экологические характеристики котла. Определим количество выбросов оксидов азота при различных значениях доли рециркуляции дымовых газов:  $r_1=10\%$ ,  $r_2=20\%$ ,  $r_3=30\%$ ,  $r_4=35\%$ ,  $r_5=40\%$ .

Эффективность котла увеличилась до  $Q_{\text{ф}}=Q=120 \text{ Гкал/ч}=503 \text{ ГДж/ч}$

$$k=2,5 \cdot 503/(84+503)=2,14 \text{ кг/т.у.т}$$

Выбросы  $\text{NO}_x$  при коэффициенте рециркуляции  $r_1=10\%$ :

$$M_1=0,34 \cdot 10^{-7} \cdot 2,14 \cdot 4,55 \cdot 33454 \cdot 0,9(1-0,025 \cdot 10) \cdot 0,85=5,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}=6,35 \text{ г/с.}$$

При коэффициенте рециркуляции  $r_2=20\%$ :

$$M_2=0,34 \cdot 10^{-7} \cdot 2,14 \cdot 4,55 \cdot 33454 \cdot 0,9(1-0,025 \cdot 20) \cdot 0,85=2,12 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}=4,24 \text{ г/с.}$$

При коэффициенте рециркуляции  $r_3=30\%$ :

$$M_3=0,34 \cdot 10^{-7} \cdot 2,14 \cdot 4,55 \cdot 33454 \cdot 0,9(1-0,025 \cdot 30) \cdot 0,85=2,12 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}=2,12 \text{ г/с.}$$

При коэффициенте рециркуляции  $r_4=35\%$ :

$$M_4=0,34 \cdot 10^{-7} \cdot 2,14 \cdot 4,55 \cdot 33454 \cdot 0,9(1-0,025 \cdot 35) \cdot 0,85=2,12 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}=1,06 \text{ г/с.}$$

При коэффициенте рециркуляции  $r_5=40\%$ :

$$M_5=0,34 \cdot 10^{-7} \cdot 2,14 \cdot 4,55 \cdot 33454 \cdot 0,9(1-0,025 \cdot 40) \cdot 0,85=2,12 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}=0 \text{ г/с.}$$

Определим величину снижения выбросов оксидов азота, % относительно базового варианта без использования рециркуляции дымовых газов по формуле (5.3):

$$\Delta = \frac{M_0 - M_i}{M_0} \cdot 100\%. \quad (5.3)$$

					13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		45

$$\Delta_1 = \frac{7,04 - 6,35}{7,04} \cdot 100\% = 9,7 \%$$

$$\Delta_2 = \frac{7,04 - 4,24}{7,04} \cdot 100\% = 39,8 \%$$

$$\Delta_3 = \frac{7,04 - 2,12}{7,04} \cdot 100\% = 69,9 \%$$

$$\Delta_4 = \frac{7,04 - 1,06}{7,04} \cdot 100\% = 84,9 \%$$

$$\Delta_5 = \frac{7,04 - 0}{7,04} \cdot 100\% = 100 \%$$

Результаты расчетов представим в виде таблицы 5.1.

Таблица 5.1 – Расчет выбросов оксидов азота при различных значениях доли рециркуляции дымовых газов

Доля рециркуляции дымовых газов, $r$ , %	$r_0=0\%$	$r_1=10\%$	$r_2=20\%$	$r_3=30\%$	$r_4=35\%$	$r_5=40\%$
$M$ , г/с	7,04	6,35	4,24	2,12	1,06	0
Величина снижения выбросов оксидов азота, $\Delta$ , % относительно базового варианта без использования рециркуляции дымовых газов	0	9,7	39,8	69,9	84,9	100

По результатам расчета построим график зависимости снижения оксидов азота от относительной доли рециркуляции дымовых газов. График представлен на рисунке 5.3.

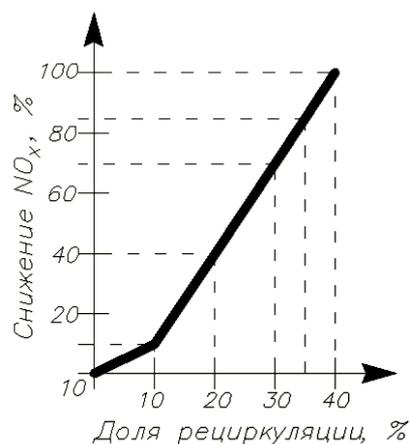


Рисунок 5.3 – Снижение оксидов азота в зависимости от относительной доли рециркуляции дымовых газов

Из расчетов заметно, то что при рециркуляции продуктов сгорания количество оксидов азота, выбрасываемых с дымовыми газами значительно уменьшается. Чем больше показатель рециркуляции, тем меньше выбросов  $\text{NO}_x$ . Оптимальное значение коэффициента рециркуляции обязано выбираться из условий эксплуатации котла.

При  $r=20\%$  подача рециркулирующих газов в дутьевой воздух позволяет снизить выход оксидов азота приблизительно на  $40\%$ ,

Так как формула (5.1) является эмпирической зависимостью, возможно сделать вывод о том, то что при значительной степени рециркуляции последующее ее увеличение ( $r > 35\%$ ) мало сказывается на выходе оксидов азота. Поэтому целесообразно выбирать коэффициент рециркуляции в пределах от  $20$  до  $30\%$ . По мнению некоторых ученых-исследователей, при сжигании жидкого топлива  $30\%$  – рециркуляция газов обеспечивает сокращение или «абсолютной ликвидации» выбросов воздушных оксидов азота, но совершенно не оказывает воздействия на топливные оксиды.

Расчет показал, что существует также предельное значение доли рециркуляции ( $35\ldots 40\%$ ), при котором еще можно применять метод рециркуляции дымовых газов. После  $40\%$  доли рециркуляции массовая доля кислорода в потоке, который идет на горение, становится ниже  $17\%$ , что ведет к ухудшению условий сгорания топлива, о чем свидетельствует рост концентрации оксида углерода.

					<i>13.03.01.2019.334.22 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		47

## 6 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

### 6.1 Влияние теплообмена в топке котла на величину вредных выбросов в атмосферу

В топке котла одновременно совершается горение топлива и сложный радиационный и конвекционный теплообмен среди заполняющей ее средой и поверхностями нагрева. В связи от организации процесса теплообмена в топке, т.е. от достигаемого степени температур, быстроты перемены температур и их распределения согласно возвышенности топки, температуры газов в выходе из топки, способы подачи и смешения горючего и окислителя меняется структура и содержание вредных элементов в продуктах сгорания.

Так, примеру, условиями, способствующими формированию и сохранению оксидов азота, считаются большие первоначальные сосредоточения азота и свободного воздуха в газовой консистенции, ее температура (порядка 1600 °С), повышение периода присутствия консистенции при высокой температуре, активное остывание продуктов сгорания.

Уменьшение содержания вредоносных элементов в уходящих газах котлов при сжигании топлива гарантируется уменьшением температурных степеней, достигаемых в топке, сжиганием топлива с наименьшими значениями коэффициента излишка воздуха, а так же использование специализированных технологий позволяющих объединять вредоносные элементы в ходе горения горючего. Существует ряд методов организации топочного хода, используемых с целью снижения создания окислов азота и иных загрязняющих соединений. К ним относятся:

- доставка 10-30-% рециркулирующих газов в топку котла, подмешивая их в воздух, доставляемый на горение, то что считается эффективным средством уменьшения выбросов оксидов азота;

- двухступенчатое сжигание, при котором горение основной массы топлива идёт при дефиците воздуха, а сохранившаяся доля горючих дожигается в зоне пониженных температур;

- внутренняя рециркуляция газов уменьшенной температуры;

- снижение температуры впрыском пара;

- ступенчатая доставка воздуха, обеспечивающая ступенеобразное сжигание топлива. Суть данного способа состоит в затягивании процесса горения согласно высоте топки, что приводит к уменьшению степени наибольших температур достигаемых в топке и наиболее мягкому распределению температур согласно возвышенности;

- подготовительная газификация угля в предтопках кипящего слоя с последующим сжиганием генераторного газа в топке котла;

- использовании топок с пересекающимися струями

Взаимосвязь предпочитаемых способов пресечения вредоносных выбросов с условиями работы котла в особенности значима при внедрении этих способов в котлоагрегатах с установленной конструкцией и габаритами топки.

При осуществлении определенных мероприятий появляются научные и тех-

					13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		48

нические трудности, какие возможно систематизировать согласно следующим группам:

- перемена выбранной схемы распределения тепловосприятости согласно отдельным элементам котла;
- увеличение издержек с хим. и механическим недожогом топлива и понижение КПД котла;
- увеличение температуры металла в единичных составляющих поверхностей нагрева больше расчетной из-за перемены схемы теплообмена;
- вероятность возникновения высокотемпературной коррозии в элементах котла с нерасчетной большой температурой;
- шлакование труб поверхностей нагрева.

Кроме данного не все способы уменьшения содержания вредоносных элементов в уходящих газах применимы в определенных котельных агрегатах. Так, к примеру, рециркуляция продуктов сгорания исполняется только лишь в котлах, работающих на газе и мазуте, а так же на угольной пыли с значительным выходом летучих. Это мероприятие никак не рекомендовано внедрять при сжигании мало-реакционных и забалластированных углей из-за ухудшения условий воспламенения и горения в корневых местах факела.

Выбросы оксидов азота из котла вида ПТВМ-100 никак не соответствуют нынешнему уровню для газомазутных котлов и считаются основным, загрязняющим окружающую среду, компонентом, при сжигании природного газа, и одним из основных компонентов при сжигании угля и мазута. Поэтому уменьшение засорения атмосферы окислами азота представляет важную проблему на Южном Урале.

На водогрейных котлах более применимы первоначальные 2 метода, что и рекомендовано в работе.

Проведенные Всероссийским теплотехническим институтом исследования показали значительную результативность системы горелочного аппарата, предложенного в ВКР: стабильность деятельности в спектре 30-100%, отсутствие химического недожога, невысокие выбросы оксидов азота меньше  $90 \text{ мг/м}^3$  при работе в природном газе. Монтаж данных горелок в котлах ПТВМ-100, существенно улучшает природоохранную ситуацию в регионе.

## **6.2 Проверка соответствия высоты дымовой трубы необходимой степени рассеивания вредных веществ**

Уровень дымовых труб электростанций и иных предприятий должна обеспечивать такое развевание золы, пыли, сернистого ангидрида либо других вредных включений, при котором концентрации их у поверхности земли становятся меньше максимально допустимых. От других котлов продукты сгорания отводятся через единую железобетонную дымовую трубу высотой  $H=120\text{м}$  с диаметром устья  $d=5\text{м}$ . Наибольшая приземистая концентрация выбросов с дымовой трубы станет отслеживаться в промежутке наибольшей нагрузки котлов, т е в зимний период при температуре  $-34^\circ\text{C}$ .

Исходные данные для расчета дымовой трубы представлены в таблице 6.1.

					13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		49

Таблица 6.1 – Исходные данные для расчета

Наименование величины	Обозначение. Расчетная формула	ПТВМ-100	ПТВМ-100 после модер- низации	КВМ-100	ГМ-50-14
Теплопроизводительность, МВт	$Q$	116,3	133,6	116,3	32,95*
КПД котла, %	$\eta$	89,3	91,7	92,7	92,0
Расход топлива, м <sup>3</sup> /с	$B = \frac{Q \cdot 100}{Q_h^p \cdot \eta}$	3,89	4,55	3,75	1,07
Температура уходящих газов, °С	$t_{yx.g}$	185	160	138	140
Коэффициент избытка воздуха перед дымовой трубой	$\alpha$	1,26	1,13	1,18	1,30
Объем продуктов сгорания, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$V_r = V_r^o + (\alpha - 1)V^o$ $V_2^o = 10,552$ $V^o = 9,387$	13,031	11,791	12,241	13,368

Примечание\*: Производительность парового котла устанавливается по формуле (6.1):

$$Q = D(i_p - i_{пв}) + PD(i_{кв} - i_{пв}), \quad (6.1)$$

где  $D$  – паропроизводительность котла;  $D = 13,89$  кг/с,

$i_{пв}$ ,  $i_p$ ,  $i_{кв}$  – энтальпия соответственно пара, питательной и котловой воды;  $i_p = 2788,4$  кДж/кг;  $i_{пв} = 439,36$  кДж/кг;  $i_{кв} = 830,1$  кДж/кг.

Усредненная температура газов на входе в единую дымовую трубу (6.2):

$$t_{yx.z}^1 = \frac{3(V_2 B t_{yx2})_{КВГМ} + 2(V_2 B t_{yx2})_{ГМ50} + (V_2 B t_{yx2})_{ПТВМ} + (V_2 B t_{yx2})_{ПТВМ}^p}{3(V_2 B)_{КВГМ} + 2(V_2 B)_{ГМ50} + (V_2 B)_{ПТВМ} + (V_2 B)_{ПТВМ}^p} \quad (6.2)$$

$$t_{yx.z}^1 = \frac{3 \cdot 12,241 \cdot 3,75 \cdot 138 + 2 \cdot 13,368 \cdot 1,07 \cdot 140 + 13,031 \cdot 3,89 \cdot 185 + 11,791 \cdot 4,55 \cdot 160}{3 \cdot 12,241 \cdot 3,75 + 2 \cdot 13,368 \cdot 1,07 + 13,031 \cdot 3,89 + 11,791 \cdot 4,55} = 151^\circ\text{C}$$

Количество продуктов сгорания, отводимых через общую трубу определяется по формуле (6.3):

$$V = [3(V_r B)_{КВГМ} + 2(V_r B)_{ГМ50} + (V_r B)_{ПТВМ} + (V_r B)_{ПТВМ}^p] \times (t_{yx.z}^1 + 273) / 273 \quad (6.3)$$

$$V=(3 \cdot 12,241 \cdot 3,75+2 \cdot 13,368 \cdot 1,07+13,031 \cdot 3,89+11,791 \cdot 4,55) \cdot (150+273) / 273=419 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расчет выбросов оксидов азота в кг/с выполняется согласно эмпирической формуле (6.4):

$$M=0,34 \cdot 10^{-7} \cdot k \cdot B \cdot Q_{\text{н}}^p \cdot (1-q_4/100) \cdot \beta_1(1-\varepsilon_1 r) \cdot \beta_1 \cdot \beta_1 \cdot \varepsilon_2 \quad (6.4)$$

где  $k$  – показатель, определяющий выход оксидов азота в кг на тонну условного топлива; для водогрейных котлов мощностью более 120 ГДж/ч определяется по формуле (6.5):

$$k=2,5 Q_{\text{ф}}/(84+Q); \quad (6.5)$$

для паровых котлов производительностью 30-70 т/ч определяется по формуле (6.6):

$$k=D_{\text{ф}}/20; \quad (6.6)$$

$Q_{\text{ф}}$  и  $Q$  – фактическая и номинальная тепловая мощность котла, ГДж/ч;

$D_{\text{ф}}$  – фактическая паропроизводительность котла, т/ч;

$\beta_1$  – коэффициент, учитывающий влияние содержания азота в топливе на выходе оксидов азота, при  $\alpha_{\text{т}}=1,05$  принимают при сжигании газа  $\beta_1=0,9$ ;

$\beta_2$  – коэффициент, учитывающий конструкцию горелок,  $\beta_2=0,85$ ;

$\beta_3$  – коэффициент, учитывающий вид шлакоудаления; при сжигании газа  $\beta_3=1$ ;

$\varepsilon_1$  – коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих газов;  $\varepsilon_1=0,025$  при вводе газа рециркуляции в воздушное дутьё;

$\varepsilon_2$  – коэффициент, характеризующий снижение выброса оксидов азота при подаче части воздуха помимо основных горелок,  $\varepsilon_2=1$ ;

$r$  – степень рециркуляции дымовых газов.

С целью раскрытия воздействия рециркуляции доли дымовых газов на величину выбросов рассчитаем содержание оксидов азота в продуктах сгорания котла ПТВМ-100 до и уже после модернизации.

### 6.2.1 Расчет оксидов азота в продуктах сгорания котла ПТВМ-100 до модернизации

Наибольшее количество  $\text{NO}_x$  в дымовых газах будет при работе в номинальном режиме, когда  $Q_{\text{ф}}=Q=100 \times 4,19=419$  ГДж/ч.

$$k=2,5 \cdot 419/(84+419)=2,08 \text{ кг/т.у.т}$$

$$M=0,34 \cdot 10^{-7} \cdot 2,08 \cdot 3,89 \cdot 33454 \cdot 0,9 \cdot 0,85=7,04 \times 10^{-3} \text{ кг/с}=7,04 \text{ г/с.}$$

					13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		51

## 6.2.2 Расчет оксидов азота в продуктах сгорания котла ПТВМ-100 после модернизации

Производительность котла возросла до  $Q_{\phi}=Q=120 \cdot 4,19=503$  ГДж/ч

$$k=2,5 \cdot 503/(84+503)=2,14 \text{ кг/т.у.т}$$

Выбросы  $\text{NO}_x$  при коэффициенте рециркуляции 15%:

$$M=0,34 \cdot 10^{-7} \cdot 2,14 \cdot 4,55 \cdot 33454 \cdot 0,9(1-0,025 \cdot 15) \cdot 0,85=5,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}=5,3 \text{ г/с.}$$

При коэффициенте рециркуляции 30%:

$$M=0,34 \cdot 10^{-7} \cdot 2,14 \cdot 4,55 \cdot 33454 \cdot 0,9(1-0,025 \cdot 30) \cdot 0,85=2,12 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}=2,12 \text{ г/с.}$$

Из расчетов заметно, что присутствие рециркуляции продуктов сгорания количество оксидов азота, выбрасываемых с дымовыми газами значительно уменьшается. Чем больше показатель рециркуляции, тем меньше выбросов  $\text{NO}_x$ . Оптимальное значение коэффициента рециркуляции обязано выбираться из условий эксплуатации котла.

## 6.2.3 Расчет рассеивания оксидов азота

Расчет единой трубы сделан при условии отсутствия рециркуляции дымовых газов в модернизируемом котле, т.е. при менее благоприятных условиях работы.

При наличии нескольких сконцентрированных источников выбросов загрязняющих атмосферу элементов сосредоточения их в околосреднем слое определяется как сумма концентраций по формуле (6.7):

$$C=\sum_{i=1}^N C_i, \quad (6.7)$$

где  $C_i$  – концентрация вредного вещества, обусловленная выбрасами  $i$ -го источника.

При сжигании природного газа, то есть присутствие в выбросах только оксидов азота, обязано соблюдаться требование (6.8):

$$C=\sum_{i=1}^N C_i \leq \text{ПДК} \quad (6.8)$$

С целью контроля данного условия рассчитаем концентрацию  $\text{NO}_x$  в околосреднем слое от воздействия любого из 4 источников выбросов.

						13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			52

Наибольшее значение околоземной концентрации вредного элемента при выбросе газовой воздушной консистенции из единичного точечного источника с круглым устьем достигается при неблагоприятных метеорологических обстоятельствах и определяется по формуле (6.3):

$$C_i = \frac{AM_i F m_i n_i}{H_i^3 \sqrt{V_i \Delta T_i}}, \quad (6.3)$$

где  $A$  – показатель, обуславливаемый от температурной стратификации атмосферы для наиболее негативных метеорологических обстоятельств, устанавливающий условия горизонтального и вертикального рассеивания вредоносных элементов в атмосфере, для Урала  $A=160$  ( $c^{2/3} \cdot \text{мг}$ )/град $^{2/3}$ ;

$M_i$  – суммарное число вредного элемента, выбрасываемого в атмосферу, г/с;

$F$  – показатель, учитывающий скорость оседания вредоносных элементов в атмосферном воздухе, для газообразных примесей  $F=1$ ;

$m_i, n_i$  – безразмерные коэффициенты, учитывающие требования выхода газовой воздушной консистенции из устья источника выброса;

$H_i$  – уровень источника выброса, м;

$\Delta T$  – разница между температурой газовой воздушной консистенции и температурой окружающего воздуха;

$V_i$  – расход уходящих газов через устье дымовой трубы, м $^3$ /с.

Расчет рассеивания оксидов азота индивидуальной и общей дымовыми трубами приведен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Расчет рассеивания оксидов азота

Наименование величины	Расчетная формула	Индивидуальная труба	Общая труба
1	2	3	4
Расход выбросов оксидов азота, г/с	Формула (6.4)	7,04	39,11
Высота трубы, $h$ , м	Задано	55	120
Диаметр устья трубы – $D_0$ , м	Задано	3,2	5,0
Разность между температурой газов и средней температурой воздуха в зимний период, $\Delta T$ , $^{\circ}\text{C}$	$\Delta T = t_{\text{ухг}} + 34$	219	185
Объем газовой воздушной смеси, $V$ , м $^3$ /с	Задано	84,8	419

## Окончание таблицы 6.2

1	2	3	4
Средняя скорость выхода дымовых газов из устья трубы, м/с	$W = \frac{4V}{\pi D_0^2}$	10,5	21,3
Параметр $f$	$f = \frac{10^3 W^2 D_0}{h^2 \Delta T}$	0,532	0,851
Коэффициент $m$	$m = (0,67 + 0,1 \sqrt{f} + 0,34 \sqrt[3]{f})^{-0,1}$	0,982	0,922
Параметр $V_M$	$V_M = 0,65 \left( \frac{V \Delta T}{h} \right)^{1/3}$	4,53	5,62
Коэффициент $n$	При $V_M \geq 2, n = 1$	1	1
Максимальная приземная концентрация, мг/м <sup>3</sup>	$C_M = \frac{AMFmn}{h^2 (V \Delta T)^{1/3}}$	0,014	0,009

Суммарное сосредоточение оксидов азота в околосреднем слое в зимнее время при работе абсолютно всех котлов составляет:

$$C = 3 \cdot 0,014 + 0,009 = 0,051 \text{ мг/м}^3 > \text{ПДК} = 0,04 \text{ мг/м}^3$$

Одновременно все котлы функционируют только лишь в самый холодный период года, если  $t_n \leq -34^\circ\text{C}$ , т.е. непродолжительное время. При наиболее неблагоприятной из условий рассеивания вредоносных элементов ситуации, то есть летом, работает часть котлов. Как правило, котлы ПТВМ-100, работающие с индивидуальными дымовыми трубами в летний промежуток отключены. Околосредняя концентрация  $\text{NO}_x$  при работе остальных котлов на номинальной нагрузке при средней температуре воздуха в 13 часов наиболее теплого месяца, равной  $+30^\circ\text{C}$ , как видно из таблице 6.3, составляет  $0,01 \text{ мг/м}^3$ , что не превосходит ПДК.

Таблица 6.3 – Расчет концентрации  $\text{NO}_x$  при работе остальных котлов на номинальной нагрузке

$M$ , г/с	$\Delta T$ , $^\circ\text{C}$	$f$	$m$	$V_M$	$n$	$C_M$ , мг/м <sup>3</sup>
39,11	121	1,302	0,866	4,88	1	0,01

Так как вычислена наибольшая околосредняя концентрация вредоносных веществ меньше предельно допустимой ( $0,04 \text{ мг/м}^3$ ), в таком случае возможно сделать вывод, что существующая дымовая труба имеет достаточную высоту для рассеивания выбросов до необходимого уровня, что исключает её наращивание для экологических целей.

## 7 КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И АВТОМАТИКА

### 7.1 Автоматизация котла

Надежная, экономная и не опасная работа котельного агрегата с минимальным количеством обслуживающего персонала способен осуществляться только при наличии теплового контроля, автоматического регулирования и управления технологическими действиями, средств сигнализации и защиты оборудования.

Размер автоматизации котла берется в соответствии с СП 89.13330.2016 [16] и условиями заводов-производителя тепломеханического оснащения. Для автоматизации и теплового контроля используются массово выпускаемые приборы и регуляторы. Единственными вопросами контролирования и управления деятельностью котла являются предоставление:

- формирования в любой период требуемого количества теплоты (пара) с установленными параметрами;
- экономичности сжигания топлива и данные издержки теплоты к минимуму;
- рациональности применения электроэнергии для собственных нужд котельной установки;
- прочность и защищенности, то есть формирование и поддержка нормальных режимов работы, как котельного агрегата, так и дополнительного оборудования.

Тепловой надзор состоит в непрерывном либо периодическом измерении параметров проходящих процессов при поддержке определенных средств, сведений данных на пультах операторов и при необходимости, регистрации полученных итогов.

Автоматическое регулирование и руководство содержит в себе автоматическое поддержание, в отсутствие человека, на протяжении установленного интервала времени с требуемой точностью заданных систем технологического процесса, а также автоматический запуск и остановку разных приводов и моторов, отдельных конструкций элементов и аппаратов в целом.

Сигнализация предназначена для передачи сигналов, информирующих обслуживающий штат о состоянии оборудования и отклонении контролируемых характеристик от нормы. Сигнализация различается на предупредительную, исполнительную и аварийную.

Защита используется с целью избежания повреждений оснащения при возникновении аварийных обстановок. Приборы автоматической защиты прерывают управляемый процесс либо обеспечивают прочие мероприятия устранения или предотвращения аварийных ситуаций.

Принципиальная схема теплотехнического контроля и сигнализации топливного и газовоздушного трактов вычерчена в соответствии с [9], приведена на листе №6 графической части. В соответствии с этой схемой составлена спецификация приборов и средств автоматики и представлена в спецификации. В схеме уменьшено количество горелок до шести, из них четыре растопочные, добавлена цепь управления приводом шиберга газохода рециркуляции.

После окончания модернизации вся схема КИПиА обязана быть подвергнута наладке и комплексному контролю.

					13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		55



7.3.3. Установить накладки в состояние "Защита" и взвести блинкеры указательных реле.

7.3.4. На всех устройствах и датчиках, задействованных в цепях защит, установить параметры, надлежащие рабочим характеристикам котла, при этом все световые табло должны погаснуть.

7.3.5. Установить ключ переключателя защит в положение "Проверка".

7.3.6. Воздействие на исполнительный механизм произвести одной из защит. Для этого переключатель защит нужно установить в положение "Включено".

7.3.7. Перед проверкой каждой защиты проконтролировать срабатывание сигнализации согласно карты уставок.

7.3.8. Перед началом комплексного опробования все работы на котле должны быть закончены, люди выведены с котла.

7.3.9. Подать напряжение в схему управления электрических двигателей дымососа и вентилятора котла.

7.3.10. Подать напряжение в схему электроприводов задвижек:

- на газопроводе к горелке №1-6;
- вентиля на мазутопроводе к горелке №1-6;
- задвижки на газопроводе к котлу;
- задвижки на мазутопроводе к котлу;
- клапана-отсекателя на газопроводе к котлу КО-Г;
- клапана-отсекателя на мазутопроводе к котлу КО-М;

7.3.11. Подать напряжение в схему исполнительных механизмов регуляторов:

- топливо – газ;
- топливо-мазут;
- общего воздуха;
- рециркуляции.

## **7.4 Проверка защит, действующих на останов котла**

### **7.4.1 Проверка защиты от повышения температуры воды после котла**

Перевести тумблер защит ПЗ в положение "Включено", накладку НК-8 в положение "Вкл." – включено.

Сомкнуть контакты устройств типа КСМ2 (поз.1В-2) и КПМ (поз.1В-301) в сторону "Больше", при этом сработает реле времени РВ-3 и с выдержкой времени сомкнет контакты реле РА-6, сработают выходные реле РЗ-1, РЗ-2, РЗ-3, РЗ-4 и выпадает блинкер РБ-6 "Повышение температуры воды за котлом".

Выходные реле воздействуют на исполнительные механизмы.

Вернуть каретки приборов в начальное состояние (разъединить контакты приборов), переключатель защит ПЗ и накладку НК-8 установить в положение "Откл." – отключено, снять залипание выходных реле, взвести выпавший блинкер.

					13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		57

#### **7.4.2 Проверка защиты от понижения давления мазута перед котлом**

Перевести ПЗ в положение "Вкл.", накладку НК-2 в положение "Вкл.", переключатель топлива ПТ в положение "Мазут", а переключатель мазута ПЗМ в положение "Защита".

Замкнуть контакты ЭКМ (поз.1В-22), при этом сработает реле 1РП в схеме технологической сигнализации и загорится табло "Давление мазута низко". Замкнуть контакты устройства КСД2 (поз.1В-21) в "Меньше", сработает с выдержкой времени реле РВА-1 и выпадает сигнал на выходные реле защит, выпадает блинкер РБ-1 "Отклонение давления топлива".

Переключатель защит ПЗ и накладку НК-2 установить в состояние "Откл.", снять залипание выходных реле, взвести выпавший блинкер. Переключатель мазута ПЗМ перевести в состояние "Откл.".

#### **7.4.3 Проверка защиты от повышения или понижения давления газа перед котлом**

Перевести ПЗ и накладку НК-1 в состояние "Вкл"-включено. Сомкнуть контакты напоромера 1В-29.2 в сторону "Меньше".

При этом сработает реле 7РП в схеме ТС и загорится табло "Отклонение давления газа". Сомкнуть контакты устройства КСД2(поз.1В-28) в "Меньше", при этом сработает реле РА-1, выходные реле защит РЗ-1, РЗ-2, РЗ-3, РЗ-4 и выпадает блинкер РБ-1 "Отклонение давления газа".

#### **7.4.4 Проверка защиты от повышения давления воды за котлом**

Перевести ПЗ и накладку НК-4 в состояние "Вкл".

Сомкнуть контакты ЭКМ(поз.1К-19) в сторону "Больше". При этом сработает реле 2РП в схеме ТС и загорится табло "Давление воды высоко". Сомкнуть контакты устройств КСД2 (поз.1В-20) в сторону "Больше", при этом сработает реле времени РВ-4 и с выдержкой времени сомкнет контакты на реле РА-2, выпадает блинкер РБ-2 "Отклонение давления воды" и срабатывают выходные реле защит.

#### **7.4.5 Проверка защиты от понижения давления воды за котлом**

Перевести тумблер защит ПЗ и накладку НК-4 в состояние "Вкл.". Сомкнет контакты ЭКМ (поз.1В-19) на "Меньше", при этом сработает реле 3РП в схеме ТС и загорится табло "Давление воды низко".

Сомкнет контакты устройства КСД-2 (поз.1В-20) на "Меньше", при этом сработает реле времени РВ-4 и с выдержкой времени замкнет контакты и соберет схему на реле РА-2, при этом сработают выходные реле защит РЗ-1, РЗ-2, РЗ-3, РЗ-4, выпадает блинкер РБ-2 "Отклонение давления воды".

#### 7.4.6 Проверка защиты от понижения расхода воды через котел

Перевести переключатель защит ПЗ и накладку НК-7 в положение "Включено".

Замкнуть на "Меньше" контакты устройств типа КПД (поз.1В-34) и КСД2-056 (поз.1В-307). При этом сработает реле времени РВ-5 и с выдержкой времени соберет схему на реле РА-5. Уже после этого сработают выходные реле защит РЗ-1, РЗ-2, РЗ-3, РЗ-4 и выпадает блинкер РБ-5 "Понижение расхода воды через котел".

#### 7.4.7 Проверка защиты от погасания факела в топке

Перевести переключатель защит ПЗ и накладку НК-3 в положение "Вкл."

Затемнить (прикрыть чехлом) оба фотодатчика устройств ЗЗУ-4 (поз.1В-38а, 1В-39а). При этом срабатывает реле РА-7, сработают выходные реле защит РЗ-1, РЗ-2, РЗ-3, РЗ-4 и выпадает блинкер РБ-7 "Погасание факела в топке".

#### 7.4.8 Проверка действия кнопки "Ручной останов котла"

Кнопка "Ручной останов котла" введена в схему тех.защиты помимо переключателя защит ПЗ. При нажатии кнопки "Ручной останов котла"

выпадает блинкер РБ-8 "Ручной останов котла" и срабатывают выходные реле защит РЗ-1, РЗ-2, РЗ-3, которые производят отключению котла.

#### 7.4.9 Проверка защиты "Останов дымососа или вентилятора"

Включить в работу электродвигатели дымососа и вентилятора.

Разомкнуть контакты расходомера воды через котел КСД2 (поз.1В-34), после чего открыть задвижки:

- на газопроводе к горелке №1-6;
- вентиля на мазутопроводе к горелке №1-6;
- задвижки на газопроводе к котлу;
- задвижки на мазутопроводе к котлу;
- клапана-отсекателя на газопроводе к котлу КО-Г;
- клапана-отсекателя на мазутопроводе к котлу КО-М;

Взвести клапаны-отсекатели:

- на газе – КО-Г;
- на мазуте – КО-М.

Перевести ПЗ в положение "Вкл", ПТ в положение "Газ" ("Мазут"), накладку НК-9 в положение "Вкл."

Отключить электродвигатель дымососа при помощи аварийной кнопки.

Проследить, что:

- отключается электродвигатель вентилятора;
- закрываются задвижки: на газопроводе к котлу, на газопроводе ко всем шести горелкам; на мазутопроводе к котлу, на газопроводе к ЗЗУ;

- закрываются(салятся) клапаны-отсекатели на газе(мазуте) к котлу;
- налагается запрет на открытие задвижек на газе и мазуте к котлу.

Все замечания, выполнение при комплексном опробовании устраняются немедленно, после чего проверку следует повторить.

#### **7.4.10 Проверка защиты от исчезновения напряжения в цепях питания КИПиА**

Накладку НК-11 поставить в положение "Вкл", переключатель топлива ПТ в положение "Мазут" или "Газ".

Снять напряжение с шин питания КИП и А. При этом сработает реле времени РВ и с выдержкой времени соберет цепи на электромагниты клапана-отсекателя на мазуте или газе и выпадает блинкер РБ-11 "Исчезновение напряжения питания КИП и А".

#### **7.5 Меры безопасности при проведении комплексного опробования защит**

7.5.1. Все операции по подготовке технологического оборудования и с первичными вентилями выполняет персонал котельного цеха.

7.5.2. Все операции по подготовке цепей защит проводятся оперативным или ремонтным персоналом.

7.5.3. Все работы на котле должны быть прекращены, посторонний персонал, не участвующий в проверке, обязан быть удален с котла.

7.5.4. Единой проверка тепловой защиты после капитального ремонта или монтажа проводится по наряду.

7.5.5. При проведении единой проверки защит должны соблюдаться "Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок" [12], "Правила ТБ при эксплуатации тепломеханического оснащения электро станций и тепловых сетей" [14], "Правила безопасности в газовом хозяйстве" [11].

					13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		60



К группе химических ОВПФ по характеру воздействия на организм человека относят:

- токсичные вещества;
- раздражающие вещества.

Токсичным веществом является углекислый газ – сильнодействующее ядовитое газообразное вещество, входящее в состав продуктов сгорания топлива. СО возникает в котельном цехе в случаях утечки через неплотности в местах присоединения элементов газохода либо мельчайшие щели. Предельная концентрация этого вещества составляет 3 мг/м<sup>3</sup>. Класс опасности IV – малоопасное вещество.

К психофизиологической группе ОВПФ относят:

- физические (стационарные и динамические) нагрузки;
- нервно-психические перегрузки: монотонность труда, сменность, эмоциональные перегрузки.

## **8.2 Характер воздействия выявленных небезопасных и вредных производственных условий на оборудование и организм человека**

Движущиеся механизмы некоторого оборудования могут привести к получению травм и другим несчастным случаям.

Повышенная загазованность в некоторых местах рабочей зоны и запыленность могут привести к образованию взрывоопасной смеси, а это, в свою очередь – к взрыву.

При повышенной температуре поверхностей оборудования происходит усиленное потоотделение, организм теряет воду и соли, кровь густеет и затрудняет работу сердца. В тяжелых случаях это может привести к тепловому удару, к резкому расстройству нервной системы (обмороки, судороги).

Шум отрицательно влияет на здоровье человека, усиливает утомляемость работающего, способствует возникновению ошибок в работе, что особенно опасно при работе с энергетическим оборудованием.

Вибрация, как местная, так и общая, отрицательно влияет на нервную систему, желудочно-кишечный тракт, мышцы. Длительное воздействие вибрации может привести к трудноизлечимой вибрационной болезни.

Вибрация также отрицательно воздействует на оборудование. Так, плохое центрирование дымососа или дутьевого вентилятора с электродвигателем может привести к быстрому износу подшипников, а это, в свою очередь – к аварийному останову котлоагрегата.

Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает на него сложное воздействие, являющееся совокупностью термического (нагрев тканей), электролитического (разложение крови, плазмы) и биологического (раздражение и возбуждение нервных окончаний). Любое из этих воздействий может привести к электротравме. Различают местные электротравмы и электрические удары. Приблизительно в 55 % случаев травмы носят смешанный характер.

						13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			62



энергозатратами организма до 172 Вт. Она принадлежит к простой физической работе группы Ib. Деятельность ремонтного персонала сопряжена с ходьбой и перемещением небольших тяжестей (вплоть до 10 кг), с энергозатратами 172 -232 Вт. Она относится к физиологической работе средней тяжести группы IIб.

Таблица 8.1 – Микроклимат в котельной

Период года	Категории работ	Температура, °С			Оптимальная влажность, %		Скорость воздуха	
		Оптимальная	допустимая		Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	допустимая
			Постоянных рабочих мест	Временных рабочих мест				
холодный	Легкая, I б	21-23	20-24	17-25	40-60	75	0,1	< 0,2
	Средней тяжести, II б	17-19	15-21	13-23	40-60	75	0,2	< 0,4
теплый	Легкая, I б	22-24	21-28	21-30	40-60	60	0,2	0,1-0,3
	Средней тяжести, II б	20-23	16-27	15-28	40-60	70	0,3	0,2-0,5

В этой таблице приведены оптимальные и допустимые параметры. При допустимых параметрах могут ощущаться дискомфортное состояние, снижение работоспособности, однако данные отклонения стремительно нормализуются, не вызывая нарушения здоровья, как только условия станут оптимальными.

С целью обеспечения защиты обслуживающего персонала от теплоты излишнее теплоизлучение обязано быть ликвидировано либо уменьшено, излишняя теплота должна быть удалена. С целью уменьшения температуры поверхности трубопроводов используют термическую изоляцию с шамота, асбеста толщиной 120 мм, а поверх изоляцию покрывают отгораживающими экранами с белой жести, оцинкованной стали и др. Слой изолирующего слоя котлов равна 100...150 мм у водогрейных и 250 мм у паровых. С целью удаления излишней теплоты, выделяемой поверхностями котлов, обязаны быть предусмотрены кондиционеры. Они обязаны функционировать с регенерацией и установлены в помещении щита управления.

В котельном цехе так же учтена аэрирование. Воздух поступает в помещение и удаляется из него через фрамуги и форточки. Из-за разной плотности холодного и теплого воздуха и влияние ветра холодный, более плотный воздух, вытесняет из здания теплый, наиболее легкий воздух.

Газопроводы природного газа должны быть надежно герметизированы, во избежание утечек. В газовой редуцирующей подстанции регулярно проводится кон-

троль вредных веществ путем анализа проб воздуха. Для снижения уровня шума дутьевых машин используются звукоизоляционные перегородки и кожухи из плотных твердых материалов. Звуковая энергия отражается от преград в сторону источника и не проникает в помещение. Толщина звукоизоляционного кожуха 15 мм.

В качестве индивидуальных средств защиты от шума в соответствии с [2] используются мягкие противошумные вкладыши, вставляемые в уши, наушники типа ВЦНИИОТ. Также рекомендованы для применения в качестве защитных средств от шума различные противошумные шлемы, каски и специальные противошумные костюмы.

Уменьшение вибрации трубопроводов и воздухопроводов осуществляется путем установки виброизоляторов в местах соединений в виде гибких вставок. Также применяется виброгашение на дымососах и вентиляторах путем увеличения массы (инерции) индивидуальных фундаментов, двигателей и агрегатов.

С целью защиты от вибрации передаваемой человеку через ноги, рекомендуется носить спец обувь на войлочной либо толстой резиновой подошве.

На рабочих местах предусмотрено естественное боковое освещение (через окна), в комбинации с искусственным. В качестве искусственного используются газоразрядные лампы вида ЛБ (белого цвета). Данные лампы имеют значительную световую отдачу и положительный диапазон освещения. Норма освещения на рабочих местах обязана отвечать отраслевым нормам для электростанций [15]:

- 300 Лк – пульт управления, измерительные приборы на котлах и щитах;
- 50 Лк – площадки обслуживания, проходы за котлами;
- 5 Лк – лестницы, оснащения котлов.

Количество светильников на щите управления – 10 шт. Высота подвесок для светильников с защитным углом  $15^\circ$  составляет 3,5 м. Разряд зрительной работы - VI. Кроме рабочего предусмотрено аварийное освещение, которое составляет не менее 50 % от рабочего. В качестве источника света используются лампы накаливания.

В здании котельного цеха учтено расположение бытовых и служебных помещений, мастерских, специализированных для ремонта оборудования котельного цеха при условии отделения их стенами и перекрытиями из негорючих материалов и предоставления стандартных условий работы для персонала.

Все комнаты, в том числе и комнаты операторов, имеют объемы не менее  $15 \text{ м}^3$  на каждого работающего, а площадь – не менее  $4,5 \text{ м}^2$  /чел. Размеры входных дверей в помещениях учитываются никак не меньше 1 м шириной и 2,2 м высотой.

### **8.5 Безопасность технологического оборудования**

Конструкция котла и его элементов должна быть надежной и безопасной в эксплуатации, обеспечивающей возможность осмотра, очистки с применением средств механизации, промывки и продувки, а также ремонта. Для осмотра поверхностей нагрева в обмуровке котла устроены лазы круглой формы  $\varnothing 450$  мм. В конвективной части лазы имеют также круглую форму размером  $\varnothing 450$  мм.

					<i>13.03.01.2019.334.22 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		65

Для комфортного и не опасного обслуживания котлов и их компонентов [10] устанавливают постоянные площадки и лестницы с перилами высотой никак не менее 900 мм. Лестницы имеют ширину не менее 600 мм. Лестницы высотой более 1,5 м имеют угол наклона к горизонту не более 50 ° Свободное пространство над площадками и лестницами должно быть не менее 2 м высотой.

В процессе эксплуатации котлов возможны случаи превышения давлением максимально допустимой величины, что может привести к разрыву экранных труб, коллекторов, барабана и других элементов котла. С целью этого, чтобы не допустить чрезмерного превышения давления на котле установлены два предохранительных клапана, один из которых рабочий, а другой – контрольный [16]. Суммарная пропускная способность предохранительных клапанов не ниже часовой производительности котла, то есть 50 т/ч. Нормы регулировки давлений для предохранительных клапанов представлены в таблице 8.2.

Таблица 8.2 – Нормы регулировки давлений для предохранительных клапанов

Номинальное избыточное давление, МПа	Давление открытия клапана, МПа	
	Контрольное	Рабочее
14	$1,05 \times P_{\text{раб.}}$	$1,08 \times P_{\text{раб.}}$

## 8.6 Эргономика и производственная эстетика

Компоновка рабочего места и взаимное размещение всех его компонентов (сидение, органы управления, ресурсы отражения данных должны соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

Осуществление трудовых операций «зачастую» и «очень часто» обязано быть обеспечено в границах зоны легкой досягаемости и подходящей зоне моторного поля. Частота выполнения операций для машиниста котла «часто» – менее двух операций в минуту. Средняя высота расположения средств отображения информации для рабочего места женщины составляет 1380 мм, мужчины – 1410 мм. Минимальная длина свободной части рычага управления (вместе с рукояткой) в любом ее положении должна быть не менее 50 мм для захвата пальцами и 150 мм – для захвата кистью. При работе оператора в положении сидя, средства отображения информации и органы управления, уместающиеся в зоне ограниченной снизу плоскостью, отстоящей от пола не менее чем на 700 мм и не более 1500 мм по фронту, располагают на фронтальной панели. Сигнальные цвета применяются для обозначения знаков безопасности на поверхностях конструкций и элементов производственного оборудования. Установлены следующие сигнальные тона: красный, желтый, синий, зеленый. На пульте управления красным цветом обозначены рукоятки отключения, рукоятки аварийной остановки котла, аварийного сброса давления, а также сигнальные лампы, извещающие о нарушении технологического процесса. Желтым сигнальным цветом обозначены: подъемно-транспортное оборудование, постоянные и временные ограждения. Синий цвет

применяется для указывающих знаков. Зеленый сигнальный цвет применяется на пульте управления для световых табло (надпись белого цвета на зеленом фоне), контрольных ламп, оповещающих о стандартном режиме работы оборудования.

### **8.7 Пожаровзрывобезопасность**

Места, опасные в отношении загазованности, разрешается посещать и работать в них бригадой состоящей не менее чем из двух человек. К выполнению газоопасных работ I, II и III групп допускается персонал, имеющий удостоверение на право работать в газозащитных аппаратах.

Для защиты органов дыхания от вредных примесей применяются специальные защитные средства. На предприятиях используются кислородноизолирующие аппараты типа КИП-5 и «Урал-1». Природный и генераторный газы, как содержащие горючие и легковоспламеняющиеся составляющие (СН<sub>4</sub>, Н<sub>2</sub>, СО и др.) представляют большую опасность в отношении взрыва, если они образуют смесь с воздухом. Гремучие взрывоопасные смеси по процентному содержанию газа лежат между нижним и верхним пределами самовоспламенения.

Природный газ из магистрального газопровода подводится к котлам через газовую редуцирующую подстанцию (ГРП). По пожарной опасности согласно [3] ГРП относится к категории А, а ее помещение к классу В-1а. Для удаления наружу загазованного воздуха устроена постоянно действующая приточно-вытяжная вентиляция, обеспечивающая воздухообмен не менее трехкратного в час. Осуществляется систематический контроль за содержанием газа в воздухе помещения.

По всей территории ТЭЦ-1 производится ежедневная проверка состояния противопожарного оборудования дежурным вахтенным персоналом.

Для быстрого вызова пожарной охраны в котельном установлены пожарные извещатели, телефон. Котельная оборудована первичными средствами пожаротушения в соответствии с [3]:

- пожарные посты – 35 шт по всей котельной (пожарный трубопровод, краны, рукава, стволы, огнетушители ОП-5, ОУ-5 и ОХП-10, которые в последнее время заменяются на порошковые и углекислотные);
- ящики с песком;
- лопаты;
- ведра для воды.

На щите управления предусмотрено нахождение двух огнетушителей углекислотных ОУ-10, у котельной установки – два воздушно-пенных огнетушителя ОВП-20.

Переносные огнетушители размещаются на расстоянии не менее 1,2 м от проема дверей и на высоте никак не более 1,5 м от уровня пола.

При возникновении пожара в котельной, котельный агрегат должен быть немедленно остановлен, если огонь угрожает жизни обслуживающего персонала или есть непосредственная угроза повреждения оборудования, газопроводов. По возможности следует принять меры к ограждению газопроводов и вызвать пожарную команду.

					13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		67

## 9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа посвящена теме модернизации котельного агрегата ВК №1 ПТВМ-100, расположенного на Челябинской ТЭЦ-1 путем внедрения системы рециркуляции дымовых газов.

Для принятия решения по модернизации необходимо провести оценочные расчеты данного проекта по внедрению представленных в ВКР предложений. Раздел «Экономика и управление» и необходим для проведения экономического обоснования модернизации котла, выявления стоимостных и качественных показателей предлагаемого решения. Эти расчеты и будут приведены ниже. При модернизации технологического оборудования расчет экономической эффективности проводится методом срока окупаемости. Кроме того экономический эффект от модернизации котла достигается улучшением экологического влияния. Как было выявлено в разделе «Вопросы экологии», в связи с уменьшением числа выбрасываемых вредоносных элементов, к примеру  $\text{NO}_x$  с  $180 \text{ мг/нм}^3$  до  $120 \text{ мг/нм}^3$ , будет гарантированно улучшение экологической ситуации нашего региона.

### 9.1 Технико-экономический расчет модернизации водогрейного котла ВК №1 ПТВМ-100 Челябинской ТЭЦ-1 путем внедрения системы рециркуляции дымовых газов

В данном подразделе выпускной квалификационной работе определим капитальные расходы на модернизацию, рассчитаем текущие расходы до и после проведения модернизации котла ПТВМ-100 и вычислим срок окупаемости предлагаемого решения.

#### 9.1.1 Смета капитальных затрат на модернизацию водогрейного котла ПТВМ-100

Капитальные расходы рассчитываются согласно формуле (9.1):

$$K = K_M + K_{об} + K_{дем} + K_{зп} - K_{пн}, \quad (9.1)$$

где  $K_M$  – расходы на монтажные и прочие работы по модернизации котла;  $K_M = 130$  тыс. руб. [46];

$K_{об}$  – расходы на приобретение оборудования для рециркуляции дымовых газов, материалов и коммуникаций;  $K_{об} = 700$  тыс. руб. [46];

$K_{дем}$  – стоимость демонтажирования старого оборудования и работ по расчистке площади под устанавливаемое оборудование;  $K_{дем} = 45$  тыс. руб. [46];

$K_{зп}$  – заработная плата проектировщиков;  $K_{зп} = 630$  тыс. руб [46];

$K_{пн}$  – цена демонтированных поверхностей нагрева и горелок согласно цене

									лист
									68
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.01.2019.334.22 ПЗ				

металлолома.  $K_{\text{пн}} = 25$  тыс. руб. Данные затраты взяты из сметы, предоставленной проектно-сметным отделом ТЭЦ-1 [46].

$$K = 130 + 700 + 45 + 630 - 25 = 1480 \text{ тыс. руб.}$$

### 9.1.2 Расчет экономии текущих затрат

В ходе модернизации вместо шестнадцати дутьевых вентиляторов с электродвигателями мощностью  $P_1 = 10$  кВт будет установлено шесть дутьевых вентиляторов с электродвигателями мощностью  $P_2 = 22$  кВт каждый. Экономия затрат на электроэнергию определяется по формуле (9.2):

$$\Delta I_{\text{эл}} = (16P_1 - 6P_2) \cdot t_{\text{раб}} \cdot n \cdot C_{\text{ээ}}, \quad (9.2)$$

где  $t_{\text{раб}}$  – время работы дутьевых вентиляторов,  $t_{\text{раб}} = 24$  ч;

$C_{\text{ээ}}$  – стоимость электроэнергии за 1 МВт/ч.  $C_{\text{ээ}} = 3172,1$  руб.; [45]

$n$  – количество дней в году.

Таким образом,

$$\Delta I_{\text{эл}} = (16 \cdot 10 - 6 \cdot 22) \cdot 24 \cdot 365 \cdot 3,172 = 778,1 \text{ тыс. руб./год.}$$

Сокращение расходов на текущие и другие ремонты после модернизации должно составить 40...60% от затрат на ремонт котла, т.е. при средней стоимости текущего ремонта водогрейного котла типа ПТВМ-100 = 120 тыс. руб/год.:

$$\Delta I_{\text{тр}} = 0,6 \cdot 120 = 72 \text{ тыс. руб./год.}$$

Дополнительные отчисления на амортизацию устанавливаемого оборудования определяются по формуле (9.3):

$$\Delta I_{\text{а}} = K_{\text{об}} \cdot 0,98 \cdot H_{\text{а}}, \quad (9.3)$$

где  $H_{\text{а}}$  – средняя норма амортизации оборудования [36].  $H_{\text{а}} = 0,024$ . Подобным способом,

$$\Delta I_{\text{а}} = 700 \cdot 0,98 \cdot 0,024 = 16,5 \text{ тыс. руб. /год.}$$

Итак, изменение текущих затрат составит (9.4):

$$\Delta I = \Delta I_{\text{эл}} + \Delta I_{\text{тр}} - \Delta I_{\text{а}} \quad (9.4)$$

$$I = 778,1 + 72 - 16,5 = 833,6 \text{ тыс. руб. /год.}$$

					13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
						69
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

### 9.1.3 Расчет срока окупаемости модернизации котла ПТВМ-100

Срок окупаемости проекта определяется по формуле (9.5):

$$T_{ок} = \frac{K}{\Delta И}, \quad (9.5)$$

$$T_{ок} = \frac{1480,0}{833,6} = 1,8 \text{ года.}$$

Рассчитаем общий годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_r$  от реализации проекта модернизации водогрейного котла ПТВМ-100 по формуле (9.6):

$$\mathcal{E}_r = \Delta И + E_n K \quad (9.6)$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент экономической эффективности единовременных (капитальных) инвестиций (вложений). Принимается в учебных расчетах с учетом среднегодовой инфляции и риска проекта в зависимости от метода совершенствования объекта ВКР для методов модернизации элементов теплотехники  $E_n = 0,2$ .

$$\mathcal{E}_r = 833,6 + 0,2 \cdot 1480 = 1129,6 \text{ тыс. руб./год.}$$

Период окупаемости этого проекта 1,8 лет, что не превышает нормативного срока окупаемости для проектов модернизации (5 лет) и, принимая во внимание экологический эффект модернизации, он может быть принят к реализации.

Из проделанных расчетов заметно, что монтаж на котле системы рециркуляции, снижение числа горелок, модернизация экранов топки требует больших капитальных вложений в модернизацию. Совместно с этим, внедрение новой технологии дает экономию средств, ведет к снижению выбросов вредных элементов в атмосферу, что позволяет экономить на платежах по статье расходов «Пользование окружающей средой». Помимо этого в результате модернизации уменьшается теплонапряженность топки, в следствии чего уменьшаются продолжительность, трудо- и материалоемкость ремонтов, увеличивается межремонтный промежуток.

На основании всего вышеизложенного возможно сделать заключение, что модернизация котла не только оправдана с финансовой точки зрения, но и необходима с экологической.

					13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		70

## 9.2 SWOT – анализ для реализации проекта модернизации водогрейного котла ПТВМ-100

SWOT-анализ – это определение сильных и слабых сторон предприятия, а также возможностей и опасностей, исходящих из его близкого окружения (внешней среды).

- Сильные стороны (Strengths) — достоинства предприятия;
- Слабые стороны (Weaknesses) — недостатки предприятия;
- Возможности (Opportunities) — факторы внешней среды, использование которых сформирует преимущества предприятия на рынке;
- Угрозы (Threats) — условия, которые могут потенциально ухудшить положение предприятия на рынке.

Сравнительный анализ проекта осуществляется методом SWOT, т.е. составляются 4 матрицы, в которых приводятся сильные (S), слабые (W) стороны, возможности (O), угрозы (T) каждой культуры на предприятии (оценка внешних и внутренних факторов) [20].

Произведем SWOT-анализ для 2-ух вариантов: котел ПТВМ-100 после модернизации, и котел ПТВМ-100 без проведения модернизации. SWOT-анализ для первого варианта представлен в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – SWOT-анализ котла ПТВМ-100 после модернизации

<p>S: – быстрый срок окупаемости;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– снижение количества выбросов оксида азота;</li> <li>– увеличение теплопроизводительности котельного агрегата;</li> <li>– уменьшение низкотемпературной коррозии;</li> <li>– эффективная выработка тепла и электроэнергии;</li> <li>– повышение уровня автоматизации производства.</li> </ul>	<p>W: – большие капитальные затраты;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– трудоемкий монтаж оборудования;</li> <li>– дополнительные расходы на обучение производственного персонала для работы с новой внедренной схемой рециркуляции дымовых газов.</li> </ul>
<p>O: – спрос на тепловую и электрическую энергию;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– достаточный опыт в России по модернизации водогрейных котлов типа ПТВМ-100.</li> </ul>	<p>T: – нестабильность экономической обстановки на рынке энергоресурсов и строительства;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– рост цен на топливо.</li> </ul>

SWOT-анализ для второго варианта – котел ПТВМ-100 без проведения модернизации, представлен в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – SWOT-анализ котла ПТВМ-100 без проведения модернизации

<p><b>S:</b> – опыт работы с существующим оборудованием; – отсутствие затрат на разработку проекта и переобучение персонала.</p>	<p><b>W:</b> – значительные затраты материалов и труда на поддержание котлов в рабочем состоянии; – коррозия труб из-за проникновения агрессивной газовой среды через зазоры; – снижение эффективности работы поверхностей нагрева, ведущий к росту температур уходящих газов и уменьшению экономичности работы котла; – менее надежная автоматизация оборудования; – риск аварийной ситуации; – увеличение межремонтного периода;</p>
<p><b>O:</b> – устойчивый спрос на тепловую и электрическую энергию.</p>	<p><b>T:</b>– недостатки конструкции котлов этого типа; – нестабильность экономической обстановки на рынке энергоресурсов и строительства;</p>

Проведя SWOT-анализ, можно сделать вывод о том, что модернизация водогрейного котла ВК №1 ПТВМ-100 Челябинской ТЭЦ-1 путем внедрения системы рециркуляции дымовых газов считается более выгодным вариантом и позволит более результативно применять существующие средства.

### 9.3 Планирование целей предприятия и проекта

#### 9.3.1 Планирование целей предприятия в пирамиде целеполагания

Модель пирамиды необходима для представления последовательности и разработки целевого инструментария долгосрочного повышения энергетической эффективности по уровням управления предприятия. Она может быть построена по логической схеме: идеальное видение будущего состояния предприятия – миссия (реальное предназначение в настоящем времени) – иерархия целей по уровням системы управления, организованная по принципу SMART – стратегии реализации целей – планы осуществления стратегий – задачи и действия. Формулировки целевых установок должны быть направлены на снижение остроты проблем, учитывать сильные стороны выбранного варианта технического решения, выявленные возможности и угрозы при его реализации.

Определение цели проекта (исследования) соответствует начальной части формулировки темы по объектам: модернизация водогрейного котла ПТВМ-100 путем внедрения системы рециркуляции дымовых газов.

Определение предмета исследования (завершающая часть формулировки темы): водогрейный котел ВК №1 ПТВМ-100 Челябинской ТЭЦ-1.

В формулировках целей и стратегий следует использовать названия методов и выбранных технических решений. В определении видения целесообразно учесть основополагающую идею совершенствования процессов энергосбережения при использовании моделей и методов, выбранных технических решений [20].

Пирамида целеполагания ТЭЦ-1 представлена на рисунке 9.1.



Рисунок 9.1 – Модель пирамиды целеполагания ТЭЦ-1





Рисунок 9.2 – Модель дерева целей проекта модернизации водогрейного котла ВК №1 ПТВМ-100 Челябинской ТЭЦ-1 путем внедрения системы рециркуляции

Проект модернизации ПТВМ-100 имеет, к сожалению, и сдерживающие силы, такие как отсутствие финансирования на нужном уровне и недостаточная изученность данной технологии применительно к котлам типа ПТВМ-100. Первая сдерживающая сила имеет сильнейшее влияние на реализацию проекта, так как основой для ее проведения являются финансовые ресурсы.

Согласно этому полю сил можно сделать заключение о том, что движущие силы в совокупности с потенциалом изменений преобладают над сдерживающими. Это значит, что проект может быть выполнен.

Соотношение влияния движущих сил и сдерживающих сил представлено на рисунке 9.3.

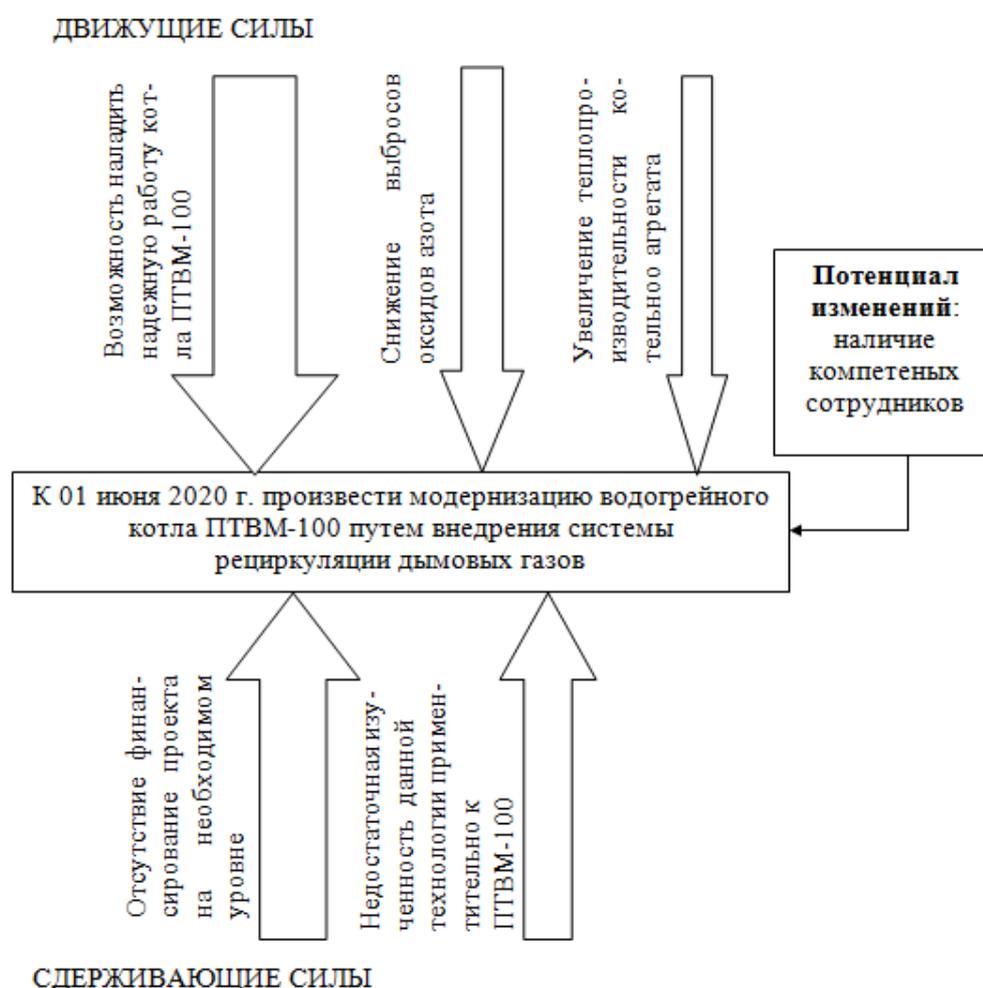


Рисунок 9.3 – Поле сил К. Левина

### 9.3.4 Ленточный график Ганта

Небольшой комплекс работ может быть показан в виде ленточного графика по этапам проектных работ. График отображает примерное разделение процессов во времени и их логическую последовательность, должен быть скорректирован и дополнен при детальной проработке проекта изменений. Согласно этапам назначаются исполнители и приблизительная продолжительность работ.

График Ганта дает возможность:

- визуально оценить последовательность задач, их относительную длительность и протяженность проекта в целом;
- сопоставить планируемый и реальный ход выполнения задач;
- подробно изучить реальный ход выполнения задач. На графике отображаются интервалы времени, в течение которых задача: выполнялась, была приостановлена, возвращалась на доработку и т.д.

График Ганта согласно модернизации водогрейного котла ВК №1 ПТВМ-100 Челябинской ТЭЦ-1 путем внедрения системы рециркуляции дымовых газов представлен в приложении А (рисунок А.1.).

					<i>13.03.01.2019.334.22 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		77

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пиковые теплофикационные водогрейные котлы вида ПТВМ-100, устанавливаемые в качестве источника теплоснабжения, предусмотрены для покрытия пиковых и предельных нагрузок в концепциях централизованного теплоснабжения и представляют собою прямоточные установки, подогревающие непосредственно воду тепловых сетей.

Эксплуатация котлов этого типа выявила серьезные недостатки, вызывающие несоблюдение стандартной эксплуатации и вызывающие существенные затраты материалов и труда на сохранение котлов в рабочем состоянии. Учитывая благоприятный навык работы модернизированных котлов в выпускной квалификационной работе предлагается произвести модернизацию водогрейного котельного агрегата ВК №1 ПТВМ-100, установленного в пиковой водогрейной котельной Челябинской ТЭЦ-1.

Модернизация котла ПТВМ-100 является актуальной темой для ВКР ввиду повсеместного использования котлов этого типа на крупных котельных и ТЭЦ.

В основу проекта модернизации котла положены следующие технические решения:

- выполнение внешних ограждений топки из цельносварных панелей;
- использование укрупненных малотоксичных двухканальных газомазутных вихревых горелок с расширенным спектром регулирования по воздуху и топливу;
- применение рециркуляции дымовых газов с целью уменьшения выбросов оксидов азота и одновременно подогрева прибывающего в котел воздуха до положительных температур;
- снижение числа работающих на котле дутьевых вентиляторов с 16 до шести;
- вероятность увеличения производительности котла вплоть до 120 Гкал/час;

Схема введения плоскостей нагрева котла по воде, основа котла, отводящие газоходы, установка котла в здании сохраняются без изменения.

Модернизация котельного агрегата ПТВМ-100 в принципе является энергосберегающим мероприятием, потому что приводит к повышению энергетической эффективности работы котла, уменьшению расхода топлива, увеличению коэффициента полезного действия и снижению выбросов, поэтому суть предлагаемых мероприятий подробно описана в разделе энергосбережения.

Также выполнен сравнительный анализ АСУ ТП отечественных и зарубежных производителей на примере российской автоматизации «КВИНТ» и немецкой автоматики фирмы Siemens, в результате которого было выявлено, что наше оборудование автоматизации является более применяемым все программное обеспечение «КВИНТ» имеет русскоязычный интерфейс, а также не имеет трудностей с преобразованиями, необходимость в которых постоянно появляется в процессе эксплуатации. Недостатком зарубежных производителей является необходимость постоянно обращаться к производителю и услугам сторонних фирм для возможности внесения изменений и модернизации систем, что влечет за собой дополнительные финансовые вложения.

										лист
										78
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.01.2019.334.22 ПЗ					

В работе выполнены тепловые расчеты котельного агрегата до и после проведения модернизации.

В научной части работы изучена суть метода рециркуляции дымовых газов, проведено исследование влияния степени рециркуляции на понижение выбросов оксидов азота, построен соответствующий график.

В разделе экологии рассмотрено воздействие теплообмена в топке котла на величину вредоносных выбросов атмосфере, рассчитаны выбросы в продуктах сгорания котла ПТВМ-100 до и уже после модернизации, проведена проверка соответствия возвышенности дымовой трубы нужного уровня рассеивания вредных элементов.

Кроме того, в выпускной квалификационной работе бакалавра уделено внимание вопросам КИПиА и безопасности жизнедеятельности.

В экономико-управленческой части проведены оценочные расчеты данного проекта, посчитаны капитальные расходы на осуществление модернизации котла ПТВМ-100 и изменение текущих расходов, срок окупаемости данного проекта и общий годовой экономический эффект. Выполнен SWOT-анализ вариантов котла до и после проведения модернизации, с помощью организационно-планового инструментария реализации лучшего варианта технических решений проведен анализ и сделаны выводы об экономической эффективности предложенных в ВКР решений.

Подобным способом, цель работы достигнута, задачи – решены.

Итоги работы рекомендованы к применению для разработки и внедрения проекта модернизации котла ПТВМ-100 на ТЭЦ-1 города Челябинска.

					<i>13.03.01.2019.334.22 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		79

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 ГОСТ 12.0.003-80. Опасные и вредные производственные факторы. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1980.
- 2 ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования к безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1983.
- 3 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Стандартиформ, 2006.
- 4 ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
- 5 ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ И – 01.12.81; 02.06.90. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – М.: Стандартиформ, 2007.
- 6 ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1990.
- 7 ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ И – 1.01.86. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защит. – М.:ИПК Изд-во стандартов, 2001.
- 8 ГОСТ 12.2.049-80. ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – Введ. 1982-01-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002.
- 9 ГОСТ 21.404-85. СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – Введ. 1986-01-01. – М.: Стандартиформ, 2007.
- 10 ПБ 10-574-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов. – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – 2008.
- 11 ПБ 12-368-00. Правила безопасности в газовом хозяйстве. – Утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 26.05.2000 № 27. – М.: ПИО ОБТ, 2002.
- 12 ППБ-С. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – Утв. начальником Главгосэнергонадзора от 21 декабря 1984 г.
- 13 Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок. – Утв. Приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 24 марта 2003 №115.
- 14 РД 34.03.201-97. Правила ТБ при эксплуатации тепломеханического оборудования электрических станций и тепловых сетей. – Введ. 15.10.2007. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2003.
- 15 СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*. – Введ. 2016-11-07. – М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, 2016.
- 16 СП 89.13330.1012. Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76. – Введ. 2013-01-01. – М.: Минрегион России, 2012.
- 17 СТО ЮУрГУ 04–2008. Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Чел18

					<i>13.03.01.2019.334.22 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		80

18 Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации. Введен в действие 27.11.2009 // Российская газета № 5050 27 ноября 2009 г. – 2009.

19 Алабугина, Р.А. Выпускная квалификационная работа: структура, требования к оформлению и нормоконтролю: методические указания / Р.А. Алабугина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. – 43 с.

20 Алабугин, А. А. Экономико-управленческая часть выпускных квалификационных работ для направления подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника»: учебное пособие для бакалавров и магистрантов / А. А. Алабугин, Р.А. Алабугина. Ответственный редактор А.А. Алабугин – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. – 44 с.

21 Бадагуев, Б. Экологическая безопасность предприятия. Приказы, акты, инструкции, журналы, положения / Б. Бадагуев // Издательство: Альфа-Пресс; 2012 г;

22 Быстрицкий, Г.Ф. Основы энергетики / Г.Ф. Быстрицкий, – М.: КноРус, 2011. – 357 с.

23 Винтовкин, А.А. Современные горелочные устройства (конструкции и технические характеристики): Справочное издание / А.А. Винтовкин, М.Г. Ладыгичев, В.Л. Гусовский и др. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 496 с.

24 Гаряев, А.Б. Энергосбережение при производстве и распределении тепловой энергии (в примерах и задачах) : учеб. пособие / А.Б. Гаряев, И.В. Яковлев, Г.П. Шаповалова, В.С. Агабабов. – М.: МЭИ, 2012. - 64 с.

25 Григорьев, В.И. Справочник энергетика / В.И. Григорьев. – М.: Колосс, 2006. – 205 с.

26 Данилов, Н.И. Энциклопедия энергосбережения / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков. – Екатеринбург: ИД «Сократ», 2002. – 352 с.

27 Девисилов, В.А. Охрана труда: учебник / В.А. Девисилов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ФОРУМ, 2009. -496 с.

28 Ижорин, М.Н. Дымовые трубы. Справочник / М.Н. Ижорин. – М.: Теплотехник, 2004.

29 Карауш, С. А. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения / С.А.Карауш, А.Н. Хуторной. – Томск, 2003.

30 Клименко, А.В. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника. Справочник. (Теплоэнергетика и теплотехника; Кн.4) / А.В. Клименко, В.М. Зорина. – М.: Издательство МЭИ, 2004.

31 Липов, Ю.М. Котельные установки и парогенераторы: учебник для вузов / Ю.М. Липов, Ю.М. Третьяков. – М.: 2006.

32 Методика расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе от выбросов предприятий (утв. приказом Министра охраны ООС РК от 18 апреля 2008 года № 100-П.).

33 Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для вузов / Г. П. Плетнев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009, 352 с.

										13.03.01.2019.334.22 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата							81



**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
**График Ганта по реализации целей проекта**

Работы по проекту	Исполнитель	Кол-во исполнителей	Продолжительность 2019 г., мес.						Продолжительность 2020 г., мес.					
			Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
Разработка проектной документации на модернизацию водогрейного котла	Проектная организация	7	■	■										
Согласование проектной документации с надзорными организациями	Главный инженер проекта	1			■									
Поиск подрядных организаций – претендентов на участие в тендере по модернизации котла	Менеджер тендерного отдела	1				■								
Проведение тендера по модернизации и заключение договоров на ее проведение	Сотрудники тендерного отдела	3					■							
Выполнение наружных ограждений топки из цельносварных панелей	Подрядная организация	5						■	■					
Применение укрупненных малотоксичных вихревых горелок с расширенным диапазоном регулирования по топливу и воздуху	Подрядная организация	4							■	■				
Сокращение числа работающих дутьевых вентиляторов с 16-ти до 6-ти	Подрядная организация	3								■	■			
Внедрение системы рециркуляции дымовых газов с целью снижения выбросов оксидов азота и подогрева поступающего в котел воздуха	Подрядная организация	7								■	■	■	■	

Рисунок А.1 – График Ганта по реализации целей проекта