

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

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент,  
Начальник ЦЭО-главный энергетик  
АО «Трубодеталь»

\_\_\_\_\_ А.Н. Шиповалов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой  
промышленной теплоэнергетики,  
к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ К.В. Осинцев  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**РЕКОНСТРУКЦИЯ КОТЕЛЬНОЙ АО «ТРУБОДЕТАЛЬ» С ЗАМЕНОЙ ДВУХ  
ПАРОВЫХ КОТЛОВ ВОДОГРЕЙНЫМ**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА  
ЮУрГУ–13.03.01.2018.544.02.ПЗ ВКР

Консультант по разделу  
«Экономика и управление»,  
старший преподаватель

\_\_\_\_\_ Р.А. Алабугина  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Руководитель работы,  
к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ К.В. Осинцев  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Нормоконтролер,  
старший преподаватель

\_\_\_\_\_ Р.А. Алабугина  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Автор работы,  
студент группы ПЗ-580с

\_\_\_\_\_ И.В. Золотухина  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Челябинск 2018  
АННОТАЦИЯ

Золотухина И.В. Реконструкция котельной АО «Трубодеталь» с заменой двух паровых котлов водогрейным. – Челябинск: ЮУрГУ, 2018, 87 с., библиогр. список – 29 наим., 5 листов чертежей ф.А1, 1 лист плаката ф.А1.

В рамках выпускной квалификационной работы рассмотрен вариант реконструкции котельной АО «Трубодеталь» с установкой водогрейного котла 1 МВт для снижения затрат на выработку тепловой энергии в летний период.

В первой части выпускной квалификационной работы приведено обоснование необходимости установки котлоагрегата марки RS-D 1000.

Вторая часть работы содержит перечень состава и характеристики действующего оборудования котельной АО «Трубодеталь», краткое описание технологического процесса.

В третьей части произведен тепловой расчет водогрейного котла RS-D 1000; определены объемы воздуха и продуктов сгорания; произведен расчет энтальпий воздуха и продуктов сгорания; выполнен расчет теплового баланса котла, КПД и расхода топлива; произведен тепловой расчет топки; выполнен расчет конвективной поверхности нагрева; выполнена расчетная невязка теплового баланса.

Приводится краткое описание схемы контрольно – измерительных приборов и автоматики для водогрейного котла RS-D 1000.

Так же рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности обслуживающего персонала и вопросы экологии, с расчетом и выбором дымовой трубы.

Произведен технико-экономический расчет работы котлоагрегата RS-D 1000. Рассчитан срок окупаемости реконструкции котельной АО «Трубодеталь».

					<i>13.03.01.2018.544.02.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Золотухина</i>			<i>Реконструкция котельной АО «Трубодеталь» с заменой двух паровых котлов водогрейным</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Осинцев К.В.</i>				<i>В К Р</i>	<i>3</i>	<i>87</i>
<i>Н. Контр.</i>		<i>Алабугина Р.А.</i>				<i>ЮУрГУ Кафедра промышленной теплоэнергетики</i>		
<i>Утверд.</i>		<i>Осинцев К.В.</i>						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОБОСНОВАНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ РЕКОНСТРУКЦИИ КОТЕЛЬНОЙ АО «ТРУБОДЕТАЛЬ» С ЗАМЕНОЙ ДВУХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ ВОДОГРЕЙНЫМ.....	7
2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	13
3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ.....	15
4 ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ.....	20
4.1 Описание конструкции котла RS-D 1000 и топочного устройства.....	20
4.2 Описание газовой горелки BLU 1200.1 PAB TC.....	22
4.3 Тепловой расчет котла RS-D 1000.....	24
4.3.1 Исходные данные.....	25
4.3.2 Расчетные характеристики топлива.....	25
4.3.3 Расчет объемов воздуха и продуктов сгорания.....	25
4.3.4 Расчет энтальпий воздуха и продуктов сгорания.....	27
4.3.5 Тепловой баланс котла.....	29
4.3.6 Расчёт КПД и расхода топлива.....	31
4.4 Тепловой расчет топки.....	32
4.4.1 Геометрические размеры топки.....	32
4.4.2 Расчёт теплообмена в топке.....	33
4.5 Конвективный теплообмен оребренной трубы.....	39
4.6 Расчетная невязка теплового баланса.....	43
4.7 Выбор вспомогательного оборудования.....	44
4.7.1 Расчет циркуляционных насосов.....	44
4.7.2 Выбор циркуляционных насосов.....	45
5 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	46
5.1 Нормативно-правовая и нормативно-техническая база энергосбережения.....	46
5.2 Основные направления энергосбережения в России.....	48
5.3 Энергосбережение в промышленных и промышленно-отопительных котельных.....	49
5.4 Энергосбережение в системах горячего водоснабжения.....	50
6 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ.....	55
6.1 Вредные выбросы с уходящими газами котлов.....	55
6.2 Расчет и выбор дымовой трубы.....	60
7 АВТОМАТИЗАЦИЯ – ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ЗАЩИТА, АВТОМАТИКА.....	63
7.1 Автоматическая защита и регулирование.....	63
7.2 Контрольно измерительные приборы и автоматика безопасности котла RS-D 1000.....	66
7.3 Пульт управления ROSSMATIC 300.....	67
8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	70
8.1 Правила устройства и безопасной эксплуатации.....	70

8.2 Основные способы обеспечения безопасной эксплуатации котельных установок.....	71
8.3 Мероприятия по технике безопасности.....	72
8.4 Мероприятия по пожаровзрывобезопасности.....	74
9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ.....	76
9.1 Техничко-экономический расчет.....	76
9.1.1 Расчет капитальных затрат на реконструкцию.....	76
9.1.2 Расчет текущих затрат на газ.....	77
9.1.3 Расчет срока окупаемости проекта.....	79
9.2 SWOT-анализ вариантов проектных решений.....	79
9.3 Планирование целей проекта.....	81
9.3.1 Планирование целей проекта в дереве целей.....	81
9.3.2 График Гантта.....	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	85
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	86

## ВВЕДЕНИЕ

										Лист
										4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2018.544.02.ПЗ

Электроэнергетика остается одной из наиболее организованных и устойчивых отраслей экономики Российской Федерации.

В 2000 году Правительство РФ одобрило «Основные положения энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2030 года» [25].

Энергетическая стратегия России формировалась под долгосрочную программу социально-экономического развития страны. Причем основной сценарий соответствовал ежегодному росту экономики в среднем на 5-5,5% за 20-летний период. Наряду с этим проработан и менее оптимистичный сценарий с тем, чтобы быть готовым к разного рода неприятностям.

Ключевым вопросом является коренное техническое обновление отрасли на основе модернизации электроэнергетики в широком смысле слова: собственно модернизации существующего оборудования (за исключением физически и морально устаревшего, которое подлежит выводу из эксплуатации) и использования инновационных технологий при техническом перевооружении и реконструкции действующих мощностей и новом строительстве.

Энергетика как отрасль хозяйственной деятельности направлена на обеспечение человека всеми видами энергии, в частности, электрической, тепловой, механической. Без соответствующего уровня развития систем генерации, преобразования, распределения энергии осуществление хозяйственной и экономической деятельности невозможно. Отличительными особенностями энергетики с точки зрения экономики являются также высокий уровень капитальных затрат, длительный период окупаемости проектов, длительные сроки эксплуатации устанавливаемого оборудования.

Особое значение для человека имеет тепловая энергия. В настоящее время генерация используемого человеком тепла осуществляется в котлах и турбогенераторах. Моральный и физический износ которых, приводит к повышению расходов топлива, снижению надёжности и качества теплоснабжения, ухудшению экологической обстановки, к экономическим потерям потребителей.

Казалось бы, надо меньше теплоэнергии – вырабатывай её меньше. Но, к сожалению, с паровыми котельными это осуществить практически не возможно. Отопительное оборудование данной модификации работает с одинаковой мощностью и для обогрева тысячи человек, и для сотни тысяч, - затраты на его эксплуатацию в обоих случаях одинаковые. В результате паровые котельные становятся убыточнее.

Один из выходов из этой ситуации – это реконструкция паровой котельной, путем перевода на водогрейный режим.

В данной выпускной квалификационной работе разрабатывается реконструкция котельной, путем замены двух паровых котлов водогрейным, основным топливом которой является природный газ, а резервным – дизельное топливо.

										Лист
										5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2018.544.02.ПЗ

# 1 ОБОСНОВАНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ РЕКОНСТРУКЦИИ КОТЕЛЬНОЙ АО «ТРУБОДЕТАЛЬ» С ЗАМЕНОЙ ДВУХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ ВОДОГРЕЙНЫМ

Реконструируемая котельная находится на площадке завода АО «Трубодеталь» в Советском районе города Челябинска. Размер застроенной площади котельной – 1039 м<sup>2</sup>, которая включает в себя: здание котельной, склад хранения дизельного (резервного) топлива (насосная станция, резервуары хранения дизельного топлива), склад мокрого хранения соли. Площадь здания котельной – 750 м<sup>2</sup>. Рельеф местности холмисто-равнинный, почва с высоким содержанием гумуса.

Котельная введена в эксплуатацию в 1963 году. В котельной было установлено 6 паровых котлов, основным топливом являлся – природный газ, резервным – мазут. В 2013 году котельная реконструирована в водогрейную, путем перевода четырех паровых котлов марки ДКВр 10/13 в водогрейный режим. После чего основным топливом остался природный газ, а резервным стало дизельное топливо, путем перевооружения мазутохранилища. Котельная АО «Трубодеталь» является водогрейной.

Неоднократно изменялась тепловая нагрузка котельной. Так в октябре 2014 года котельная перестала снабжать теплом поселок Новосинеглазово, в связи с постройкой для него собственной блочной котельной. После этого нагрузка снизилась с 13,5 до 5,5 Гкал/мес.

Отопительно-производственная котельная предназначена для выработки горячей воды на отопление, горячее водоснабжение и производственные нужды производственных и административно-бытовых зданий завода АО «Трубодеталь».

В котельной установлены четыре стационарных котла ДКВР-10-13-115ГМ, переведенных в водогрейный режим и два паровых котлоагрегата марки ДКВр 10/13 и ДЕ 16/14 ГМ, подлежащих демонтажу; пять сетевых насосов марки WIL0 PL 100/210-37/2; два подпиточных насоса марки К-80-65-160, один из которых работает от частотного преобразователя. Имеются две дымовые трубы: одна – кирпичная, другая – стальная, на каждую из которых работают по два котла. В качестве основного топлива для котельной принят природный газ, в качестве резервного – дизельное топливо. Дизельное топливо находится в емкостях по 400 м<sup>3</sup>, также имеется насосная станция для подачи топлива в котельную. Система подачи дизельного топлива в работоспособном состоянии. Газ подается по газопроводу с давлением 0,7 МПа через ГРУ. Газовое оборудование (отдельно стоящий ГРП и общекотельные газопроводы), водо-водяные теплообменники, соединительные трубопроводы питательной, прямой, обратной, подпиточной и исходной воды.

Система водоснабжения закрытая, двухтрубная. Подпитка тепловых сетей организована за счет водоподготовительной установки, которая включает в себя: одноступенчатое натрийкатионирование, в состав, которого входит два Натрионитовых фильтра; установку обескислороживания «HYDROTECH DS», для

										Лист
										6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2018.544.02.ПЗ

удаления из воды кислорода и углекислого газа; насосы сырой воды марки К-100-65-200а; солевое хозяйство (солевые насосы марки Х50-32-125-ДС-4, бункер мокрого хранения соли, бак-мерник). Подпитка составляет 2 м<sup>3</sup>/сут. Имеется бак запаса химически очищенной воды объемом 75 м<sup>3</sup>, а так же запас технической воды объемом 450 м<sup>3</sup>, на случай отключения главного источника водоснабжения.

Режим работы котельной происходит по температурному графику 95-70 °С и суточной ведомости, которую планирует инженер по технической эксплуатации теплотехнического оборудования цеха по энергетическому обеспечению.

Каждый котел ДКВр 10/13 оборудован:

- дутьевым вентилятором, для подачи воздуха в топку;
- дымососом, для удаления продуктов сгорания;
- чугунным экономайзером, для дополнительного подогрева сетевой воды, за счет тепла уходящих газов.

Направляющие аппараты дымососов и вентиляторов имеют автоматизированный привод.

Каждый котел оборудован необходимыми контрольно-измерительными приборами, манометрами и приборами автоматики безопасности системы «Эльметро». Розжиг котлов автоматический. Регулирование основных параметров (давление газа, воздуха на горелку, разряжения) выполняется в ручном режиме, по режимной карте.

Сетевые насосы марки WILO IL 100/210-37/2, обеспечивающие циркуляцию котлов и тепловой сети имеют устройство плавного пуска.

Основные технические характеристики котлов и оборудования, подлежащие демонтажу, представлены в таблицах 1.1 – 1.10.

Основные технические характеристики парового котла ДКВр 10/13 даны в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Технические характеристики парового котла ДКВр 10/13

Параметры	Величина
1. Год изготовления	1961
2. Номинальная паропроизводительность, т/ч	10
3. Разрешенное избыточное давление, МПа	1,3
4. Температура насыщенного пара, °С	194
5. Температура питательной воды, °С	100
6. Площадь поверхности нагрева, м <sup>2</sup> :	
- радиационная	49,6
- конвективная	202
7. Объем, м <sup>3</sup> :	
- водяной	9,83
- паровой	2,7
- питательный	1,43
8. КПД, %	91

В таблице 1.2 представлены технические характеристики горелки ГМГ-5, установленной на котле марки ДКВр 10/13.

Таблица 1.2 – Технические характеристики горелки ГМГ-5, установленной на котле марки ДКВр 10/13

Параметры	Величина
1. Тепловая мощность при номинальной нагрузке, Гкал/ч	5
2. Давление газа перед горелкой, кгс/м <sup>2</sup>	380
3. Угол раскрытия факела, град	65÷75
4. Минимальный коэффициент избытка воздуха при номинальной нагрузке	1,05

Технические характеристики вентилятора ВДН 10 представлены в таблице 1.3, работающего на котел марки ДКВр 10/13.

Таблица 1.3 – Технические характеристики вентилятора ВДН 10, работающего на котел марки ДКВр 10/13

Параметры	Величина
1. Частота вращения, об/мин	1500
2. Номинальный диаметр рабочего колеса по лопаткам, мм	1000
3. Производительность на всасывании, м <sup>3</sup> /ч	20450
4. Полное давление, Па	3450
5. Потребляемая мощность, кВт	25,3

В таблице 1.4 даны технические характеристики дымососа ДН 12,5, работающего на котел марки ДКВр 10/13.

Таблица 1.4 – Технические характеристики дымососа ДН 12,5, работающего на котел марки ДКВр 10/13

Параметры	Величина
1. Частота вращения, об/мин	1500
2. Номинальный диаметр рабочего колеса по лопаткам, мм	1250
3. Производительность на всасывании, м <sup>3</sup> /ч	39900
4. Полное давление, Па	3510
5. Потребляемая мощность, кВт	47,2

Технические характеристики экономайзера ЭП 1-236 даны в таблице 1.5, работающего с котлом марки ДКВр 10/13.



Таблица 1.5 – Технические характеристики экономайзера ЭП 1-236, работающего с котлом марки ДКВр 10/13

Параметры	Величина
1. Площадь поверхности нагрева, м <sup>2</sup>	236
2. Давление воды (расчетное), кгс/см <sup>2</sup>	16
3. Температура газов за экономайзером, °С	150
4. Температура воды на выходе, °С	140
5. Число колонок	1
6. Длина трубы, м	2
7. Число труб в горизонтальном ряду	5
8. Число рядов	16
4. Температура воды на выходе, °С	140

Технические характеристики котла ДЕ 16/14 представлены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Технические характеристики котла ДЕ 16/14

Параметры	Величина
1. Год изготовления	2003
2. Номинальная паропроизводительность, т/ч	16
3. Разрешенное избыточное давление, МПа	1,4
4. Температура насыщенного пара, °С	194
5. Температура питательной воды, °С	100
6. Общая поверхность нагрева, м <sup>2</sup> :	193
7. Объем, м <sup>3</sup> :	
- водяной	13,3
- паровой	2,3
8. КПД, %	93

В таблице 1.7 представлены технические характеристики горелки ГМГ-10, установленной на котле марки ДЕ 16/14.

Таблица 1.7 – Технические характеристики горелки ГМГ-10 котла ДЕ 16/14, установленной на котле марки ДЕ 16/14

Наименование	Величина
1. Тепловая мощность при номинальной нагрузке, Гкал/ч	10,02
2. Давление газа перед горелкой, кгс/м <sup>2</sup>	2500
3. Коэффициент рабочего регулирования по тепловой мощности	5

Технические характеристики вентилятора ВДН 11,2 даны в таблице 1.8, работающего на котел марки ДЕ 16/14.

Таблица 1.8 – Технические характеристики вентилятора ВДН 11,2, работающего на котел марки ДЕ 16/14

Наименование	Величина
1	2
1. Частота вращения, об/мин	1500
2. Номинальный диаметр рабочего колеса по лопаткам, мм	1000
3. Производительность на всасывании, м <sup>3</sup> /ч	28750
4. Полное давление, Па	4440
5. Потребляемая мощность, кВт	45,7

В таблице 1.9 представлены технические характеристики дымососа ДН 12,5, работающего на котел марки ДЕ 16/14.

Таблица 1.9 – Технические характеристики дымососа ДН 12,5, работающего на котел марки ДЕ 16/14

Наименование	Величина
1. Частота вращения, об/мин	1500
2. Номинальный диаметр рабочего колеса по лопаткам, мм	1250
3. Производительность на всасывании, м <sup>3</sup> /ч	39900
4. Полное давление, Па	3510
5. Потребляемая мощность, кВт	47,2

В таблице 1.10 даны технические характеристики экономайзера ЭП 1-330, работающего с котлом марки ДЕ 16/14.

Таблица 1.10 – Технические характеристики экономайзера ЭП 1-330, работающего с котлом марки ДЕ 16/14

Наименование	Величина
1. Площадь поверхности нагрева, м <sup>2</sup>	380
2. Давление воды (расчетное), кгс/см <sup>2</sup>	16
3. Температура газов за экономайзером, °С	155
4. Температура воды на выходе, °С	142
5. Число колонок	1
6. Длина трубы, м	2
7. Число труб в горизонтальном ряду	7
8. Число рядов	16

Реконструкция котельной АО «Трубодеталь» необходима по нескольким причинам.

Во-первых, потери теплоты котельной слишком велики, особенно в летний период, в связи с этим один котел ДКВр10/13 переведен на работу в одnogорелочный режим. А при установке маломощного котла произойдет снижение себестоимости ГВС в летний период за счет экономии электроэнергии, газа, ФОТ.

Во-вторых, в результате реконструкции будут соблюдаться правила по охране труда в период ремонтных работ на котле (бесперебойная подача ГВС в производственные и административно-бытовые здания завода АО «Трубодеталь»).

					<i>13.03.01.2018.544.02.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		11

## 2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

При написании выпускной квалификационной работы были использованы научная и учебно-методическая литература, статьи в периодических изданиях, нормативно-законодательные акты.

Согласно федеральному закону от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ»[20]: целью является создание правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

В вопросах энергосбережения и повышения энергоэффективности важно организовать четкое взаимодействие с бизнес - сообществом, а также задействовать человеческий фактор, обеспечив информационную и образовательную поддержку мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности использования топливно-энергетических ресурсов на международном, федеральном, региональном и муниципальном уровнях.

Правовое регулирование в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности основывается на следующих принципах: эффективное и рациональное использование энергетических ресурсов; поддержка и стимулирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности; системность и комплексность проведения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности; планирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности; использование энергетических ресурсов с учетом ресурсных, производственно-технологических, экологических и социальных условий.

Согласно «Основам государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 года» [25]: стратегической целью государственной политики в области экологического развития является решение социально-экономических задач, обеспечивающих экологически ориентированный рост экономики, сохранение благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия и природных ресурсов для удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений, реализации права каждого человека на благоприятную окружающую среду, укрепления правопорядка в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности. В выпускной квалификационной работе произведен расчет высоты дымовой трубы по методике А.И. Грибанова [7,8].

Целью «Энергетической политики России на период до 2030 года» [28] является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики, повышения качества жизни населения страны и содействия укреплению ее внешнеэкономических позиций.

Настоящая Стратегия определяет цели и задачи долгосрочного развития энергетического сектора страны на предстоящий период, приоритеты и

										Лист
										12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2018.544.02.ПЗ

ориентиры, а также механизмы государственной энергетической политики на отдельных этапах ее реализации, обеспечивающие достижение намеченных целей.

В выпускной квалификационной работе будет произведен тепловой расчет котельного агрегата. Основные принципы теплового расчета приведены в нормативных методиках и рекомендациях разработанных ВТИ, ЦКТИ [17]

Также можно использовать литературу по котельным установкам [1, 5, 10, 18]. Книги содержат методику расчета котлов и вспомогательного оборудования с необходимыми иллюстрациями, таблицами и номограммами.

					<i>13.03.01.2018.544.02.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

### 3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ

Отечественные разработки водогрейных котлов преимущественно представлены водотрубными котлами, выпуск которых осваивают как крупные заводы («Дорогобужкотломаш», Бийский котельный завод, «Вольф Энерджи Солюшен»), так и небольшие котлостроительные фирмы.

Заводы-изготовители переходят на большие объемы выпуска жаротрубных котлов, активно осваивают зарубежные технологии, покупают и перерабатывают под российские нормативы техническую документацию известных фирм, продукция которых пользуется спросом и хорошо себя зарекомендовала на рынке. Например, трехходовые котлы ФР-10, ФР-16, выпускаемые по технологии компании «Финрейла» (Финляндия), котлы Buderus, котлы GKS Dynaterm, Eurotwin производства «Волф Энерджи Солюшен» по технологии компании WOLF (Германия) [27].

Важнейшей особенностью котлов малой мощности являются тепловые режимы топок и связанные с ними физико-химические процессы горения, обусловленные масштабным переходом к малым геометрическим размерам топок с уменьшением мощности котла [23]. Это изменяет соотношение площади поверхности топки к ее объему обратно пропорционально ее характерному размеру. Следствием этого является тот факт, что в малых котлах видимые тепловые напряжения топочного объема в несколько раз превышают характерные для мощных котельных агрегатов, достигая значений  $q_v = 2 \text{ МВт/м}^3$  и выше (на газе и жидком топливе), при этом тепловые напряжения поверхностей нагрева в топке ( $q_n = 200 \text{ кВт/м}^2$ ) примерно соответствуют видимым тепловым напряжениям поверхностей нагрева мощных котлов.

Водогрейный котел Buderus Logano [22].

Напольные стальные отопительные котлы, работающие на газе или дизельном топливе мощность 650–19200 кВт

Характеристики и особенности Buderus Logano:

1. Современная универсальная концепция котла:

- низкотемпературный отопительный стальной котел с перегретой водой, работающий на дизельном или газовом топливе;

- варианты исполнения с номинальной теплопроизводительностью 0,75-19,2 МВт имеют знак CE;

- в котле поверхности нагрева расположены симметрично, в его конструкции использован принцип трехходового прохождения продуктов сгорания, имеется цилиндрическая жаровая труба и водоохлаждаемая камера с поворотом газового потока;

- отопительный котел предназначен для работы на дизельном топливе EL по DIN 51 603, на природном и сжиженном газе или рапсовом масле. Котел работает со всеми дизельными и газовыми вентиляторными горелками по EN 267 и EN676 или горелками, имеющими знак CE;

										Лист
										14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.544.02.ПЗ					

- малые потери с лучистым теплом благодаря компактной цилиндрической конструкции, хорошей теплоизоляции и обшивке из алюминиевого листа;
- высокий стандартизированный коэффициент использования;
- в комбинации со встроенным конденсационным теплообменником может использоваться как газовый конденсационный котел;
- высокая эксплуатационная надежность благодаря встроенному инжектору для равномерного распределения температуры
- полное использование диапазона регулирования горелки, поскольку отсутствует ограничение минимальной нагрузки на горелку

2. Работа с пониженным уровнем шума и низкими выбросами вредных веществ:

- низкие выбросы вредных веществ благодаря организации прохода продуктов сгорания по трехходовому принципу и наличию низкоэмиссионной газовой или дизельной вентиляторной горелки;
- Vuderus Logano используется при повышенных требованиях к выбросам вредных веществ и имеет очень низкую объемную нагрузку на камеру сгорания при больших размерах самой камеры;
- существенно снижены шумы в рабочем режиме благодаря звукопоглощающей подставке под котел, шумоглушителю дымовых газов и звукопоглощающему кожуху горелки.

3. Простое и удобное управление:

- адаптация регулировочных функций в зависимости от применения;
- простая настройка всех функций системы управления (по принципу «Нажми и Поверни»);
- возможно расширение комплектации системы управления дополнительными модулями.

4. Быстрый монтаж, пуск в эксплуатацию и техническое обслуживание:

- на котле имеются крюки для его транспортировки краном;
- легкий доступ к топочной камере, простая чистка через поворотную дверь;
- дверца горелки может быть навешана справа и слева;
- бесппроблемный монтаж горелок благодаря пластине с просверленными отверстиями и специальной футеровке дверцы горелки.

Котлы RS-D являются водогрейными водотрубными котлами с горизонтальной цилиндрической топкой, работающей под наддувом, и предназначены для производства теплофикационной горячей воды с максимальной температурой до 115°C при допустимом рабочем давлении до 0,8 МПа (по спецзаказу 1,0 МПа) и работы только в закрытых системах теплоснабжения [22].

Предпочтительными сферами применения котлов RS-D являются крупные системы отопления и вентиляции, горячего водоснабжения промышленных, административных, коммунально-бытовых и сельскохозяйственных объектов, обеспечение тепловой энергией технологического оборудования. Водогрейные котлы RS-D поставляются полностью теплоизолированными, готовыми к

установке и эксплуатации. Котлы 2,5 МВт имеют устойчивые несущие опоры и могут быть установлены на ровном, прочном полу без дополнительного фундамента.

По желанию заказчика котлы комплектуются смесительными блочными газовыми, жидкотопливными или комбинированными горелками, как отечественного, так и импортного производства.

Особенности котлов.

- специальная «прощающая» конструкция теплообменника, свободно плавающего в каркасе котла, предусматривает возможность резкого охлаждения и нагрева без возникновения механических напряжений;
- эффективная циркуляция теплоносителя по топочным трубам со скоростью 2,1 м/с увеличивает интенсивность теплообмена примерно в 8 раз;
- благодаря высокой скорости циркуляции воды, в топочных трубах создается турбулентный поток, который снижает отложения накипи на стенках труб в 2-3 раза;
- благодаря применению в топке поперечно-оребранных труб, котел имеет относительно малый вес и низкую теплоаккумулирующую способность;
- исключительно малый водяной объем делает котел более безопасным при перегреве воды или превышении рабочего давления;
- низкое сопротивление газового тракта позволяет расширить диапазон регулирования горелочного устройства;
- большой объем топки и низкое тепловое напряжение топочного пространства позволяет поддерживать низкие выбросы NOx в дымовых газах;
- все сварочные швы на топочных трубах вынесены за пределы топки, что облегчает доступ к ним при ремонте котла.

Характерные особенности и преимущества.

Благодаря применению оребренных труб удалось объединить радиационную и конвективную поверхности нагрева в одно целое, что позволило уменьшить металлоемкость, существенно снизить вес и размеры котла, что дает котлу преимущество при установке его в блочно-модульных котельных, где габариты и вес имеют решающее значение.

Исключительно малый объем воды делает котел более безопасным при перегреве воды или превышении рабочего давления. Передняя крышка с установленной на ней горелкой может открываться по необходимости вправо или влево. Открытая передняя крышка обеспечивает удобный доступ к камере сгорания при осмотре, техническом обслуживании и чистке внутренних поверхностей котла.

Корпус котла и передняя крышка имеют теплоизоляцию, что обеспечивает минимальные потери тепла в окружающую среду.

Топка котла RS-D имеет меньшее аэродинамическое сопротивление, по сравнению с жаротрубными реверсивными котлами, так как дымовые газы не возвращаются назад к передней стенке, а уходят сразу в газопровод по всей площади топки, что позволяет подбирать горелки меньшего типоразмера и снижать

					13.03.01.2018.544.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16



уровень шума при работе горелки на полной мощности. Низкое сопротивление газового тракта позволяет расширить диапазон регулирования горелочного устройства.

Высокая скорость прохождения теплоносителя позволяет свести к минимуму образование накипи и значительно снизить затраты на химводоподготовку.

Устройство и принцип работы котла.

Котел RS-D является водогрейным котлом с водотрубным скоростным теплообменником. Котлы относятся к классу гидронных, т. е. скорость воды в трубах теплообменника, образующих топку, достигает 2 м/с. Топка котла горизонтальная цилиндрическая. Топка образована горизонтальными, поперечно оребренными трубами Ду-50 мм, расположенными по окружности и соединенными в змеевик.

В одном котле, в зависимости от типоразмера, расположено от 1 до 6 параллельных змеевиков. Задняя торцевая стенка топки выполнена в виде плоской плиты с цилиндрической водяной камерой, разделенной по окружности на две отдельные полости, в нее врезаны все трубы теплообменника и патрубки входа и выхода воды.

Передняя торцевая стенка топки выполнена в виде плоской плиты с расположенной на ней неохлаждаемой съемной крышкой. Крышка изнутри защищена огнеупорным материалом. Топка котла снаружи заключена в герметичный газовый короб. Продукты сгорания из топки котла проходят между оребренными экранными трубами, отдавая им тепло, и попадают в газовый короб, откуда удаляются через газоход. Для улучшения омывания дымовыми газами и увеличения интенсивности теплопередачи, снаружи на оребренные трубы топки установлены газовые рассекатели, представляющие собой профильные пластины из жаропрочной стали.

Отличительной особенностью данного котла от водотрубных котлов других производителей является то, что благодаря применению оребренных труб – удалось объединить радиационную и конвективную поверхности нагрева в одно целое, что позволило уменьшить металлоемкость, существенно снизить вес котла и его размеры. Относительно малый вес и размеры делают котел незаменимым при установке его в блочно-модульных котельных, где габариты и вес имеют решающее значение.

Основные характеристики

Производитель: ГазТехноГрупп, Россия;

Вид топлива: газообразное;

Назначение котла: одноконтурный;

Тип топки: закрытая;

Способ отвода отработанных газов: дымоход;

Коэффициент полезного действия: 95%

Способ установки: напольный.

В таблице 1.3 представлены технические характеристики водогрейных котлов марки Buderus Logano и RS-D [22, 27, 28].

										Лист
										17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.544.02.ПЗ					

Таблица 3.1 – Технические характеристики водогрейных котлов марки Buderus Logano и RS-D

Наименование	RS-D	Buderus Logano
1. Типоразмер котла	1000	1040
2. Номинальная теплопроизводительность, МВт	1	1,04
3. Вид топлива	Природный газ	Природный газ
4. КПД, не менее, %	94,5	93,5
5. Максимальная/минимальная температура воды, °С	115/50	120/50
6. Максимальное рабочее давление, МПа	0,6	0,6
7. Температура уходящих газов, °С	147	150
8. Гидравлическое сопротивление, МПа	0,07	0,05
9. Объем топки м <sup>3</sup>	1,02	1,8
10. Выбросы СО, мг/м <sup>3</sup>	не более 160	104
11. Водяной объем котла, л	155	822
12. Вес котла (без воды), т	1,6	1,8

Для уменьшения тепловых потерь в летний период к установке принимаем 1 котел RS-D 1000.

При летнем режиме теплоснабжение потребителей будет обеспечено одним котлом. При режиме наиболее холодного месяца в работе будут находиться водогрейные котлы ДКВр 10/13.

## 4 ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ

### 4.1 Описание конструкции котла RS-D 1000 и топчного устройства

Котлы серии «RS-D» являются водогрейными котлами с водотрубным скоростным теплообменником [23, 28]. Котлы относятся к классу гидронных, т.е. скорость воды в трубах теплообменника, образующих топку, достигает 2 м/сек. Топка котла (рисунок 4.1) горизонтальная цилиндрическая, образована горизонтальными поперечно оребренными трубами Ду-50 или Ду-80 мм, расположенными по окружности и соединенными в змеевик. В одном котле, в зависимости от типоразмера, расположено от 1 до 6 параллельных змеевиков. Задняя торцевая стенка топки выполнена в виде плоской плиты с цилиндрической водяной камерой, разделенной по окружности на две отдельные полости, в нее врезаны все трубы теплообменника и патрубки входа и выхода воды. Передняя торцевая стенка топки выполнена в виде плоской плиты с расположенной на ней неохлаждаемой открывающейся крышкой. Крышка изнутри защищена огнеупорным слоем из каолинового материала.

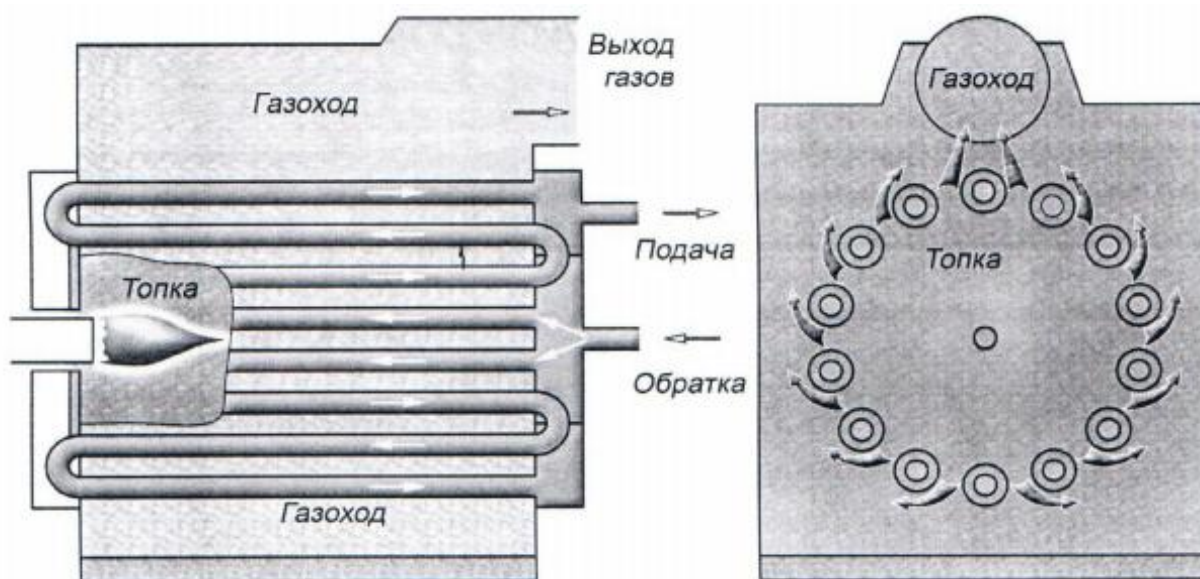


Рисунок 4.1 – Схема движения воды и дымовых газов в котле

Для улучшения омывания дымовыми газами и увеличения интенсивности теплопередачи, снаружи на оребренные трубы топки установлены газовые рассекатели, представляющие собой профильные пластины из жаропрочной стали. Таким образом, топка котла снаружи заключена в герметичный газовый короб. Продукты сгорания из топки котла проходят между оребренными экранными трубами (рисунок 4.2), отдавая им тепло, и попадают в газовый короб, откуда удаляются через газоход. Отличительной особенностью данного котла от водотрубных котлов других производителей является то, что благодаря

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.01.2018.544.02.ПЗ

Лист

19

применению оребренных труб – удалось объединить радиационную и конвективную поверхности нагрева в одно целое, что позволило уменьшить металлоемкость, существенно снизить вес котла и его размеры.

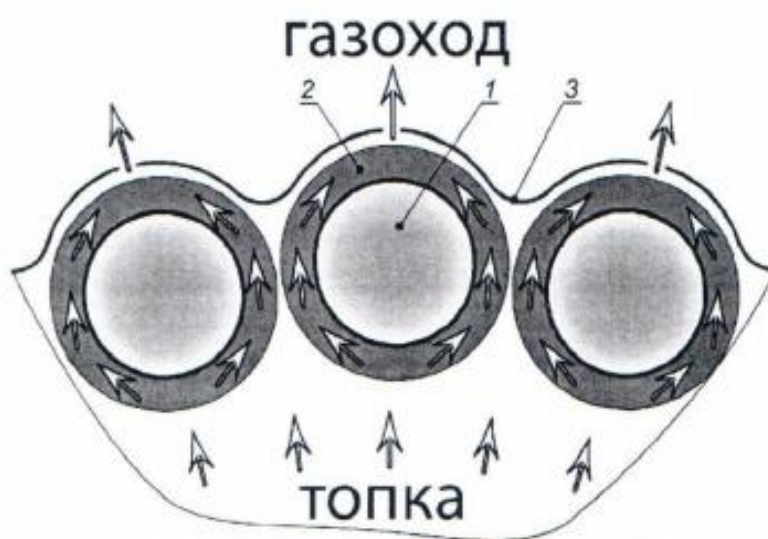


Рисунок 4.2 – Схема движения дымовых газов через топочные трубы:  
1– топочная труба; 2 – ребро трубы; 3 – газовый рассекатель

Относительно малый вес и размеры делают котел незаменимым при установке его в блочно-модульных котельных, где габариты и вес имеют решающее значение.

Специальная «прощающая» конструкция теплообменника, свободно плавающего в каркасе котла, предусматривает возможность резкого охлаждения и нагрева без возникновения механических напряжений. Трубы теплообменника выполнены в виде змеевиков, жестко закрепленных только на задней стенке котла, тепловое расширение труб происходит свободно в сторону передней части котла, повороты труб дополнительно компенсируют возможные тепловые перекосы. Повороты труб вынесены за пределы топки, для облегчения доступа к сварным швам при ремонте.

В таблице 4.1 представлены технические характеристики котлоагрегата RS-D 1000 [28].

Таблица 4.1 – Технические характеристики котлоагрегата RS-D 1000

Наименование	Величина
1	2
1. Типоразмер котла	1000
2. Номинальная теплопроизводительность, МВт	1
3. Вид топлива	Природный газ
4. КПД, не менее, %	94,5

Окончание таблицы 4.1

1	2
5. Максимальная/минимальная температура воды, °С	115/50
6. Максимальное рабочее давление, МПа	0,6
7. Температура уходящих газов, °С	147
8. Гидравлическое сопротивление, МПа	0,07
9. Аэродинамическое сопротивление топки, кПа	0,5
10. Общая поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	87
11. Объем топки м <sup>3</sup>	1,02
12. Объемная тепловая напряженность топки, МВт/м <sup>3</sup>	1,07
13. Коэффициент избытка воздуха за котлом, α	1,2
14. Выбросы СО, мг/м <sup>3</sup>	не более 160
15. Выбросы NO <sub>x</sub> , мг/м <sup>3</sup>	не более 200
16. Водяной объем котла, л	155
17. Минимальный расход воды, т/ч	35
18. Электрическая мощность (газовая горелка), Вт	2,7
19. Вес котла (без воды), т	1,6

#### 4.2 Описание газовой горелки BLU 1200.1 PAB TC

Котел комплектуется газовой горелкой BLU 1200.1 PAB TC. Горелки BLU [25] предназначены для сжигания газа и мазута. Исполнение и функционирование горелок соответствуют стандарту EN676. Они подходят для использования со всеми теплогенераторами, соответствующими стандартам, в пределах их диапазона мощности. Установку, запуск и техническое обслуживание должны осуществляться только квалифицированными специалистами согласно действующим правилам и предписаниям.

Горелки BLU являются механическими плавно-регулируемыми полностью автоматическими моноблочными устройствами. Значение эмиссии могут отличаться в зависимости от размеров топочной камеры и конструкции котла (трехходовые котлы, котлы с реверсивной топкой).

Горелка, газовая рампа и дополнительные компоненты поставляются по модульной системе упаковки согласно спецификации, на основании стандартов. Чтобы эксплуатация горелки была безопасной, энергосберегающей и отвечала природоохранному законодательству, должны соблюдаться следующие стандарты: EN 676 Газовые горелки с наддувом, EN 60335-1, -2-102 Безопасность электрооборудования для бытового использования, особые требования для газотопочных установок.

При подборе горелки необходимо проверить соответствие размеров ее факела и размеров топки котла, а также длину пламенной головы.

Газовая рампа горелки в своем составе обязательно должна иметь антивибрационный компенсатор. Это позволяет снять механические напряжения

на газопровод при работе котла и при производстве ремонтных работ (открытие и закрывание фронтальной плиты). Пламенная голова должна выступать в топку не менее чем на 100 мм от огнеупорной поверхности фронтальной стенки котла.

Пространство между пламенной головой горелки и краями горелочного отверстия фронтальной двери должно быть уплотнено мягким огнеупорным материалом.

Газовая горелка BLU 1200.1 PAB TC представлена на рисунке 4.3.

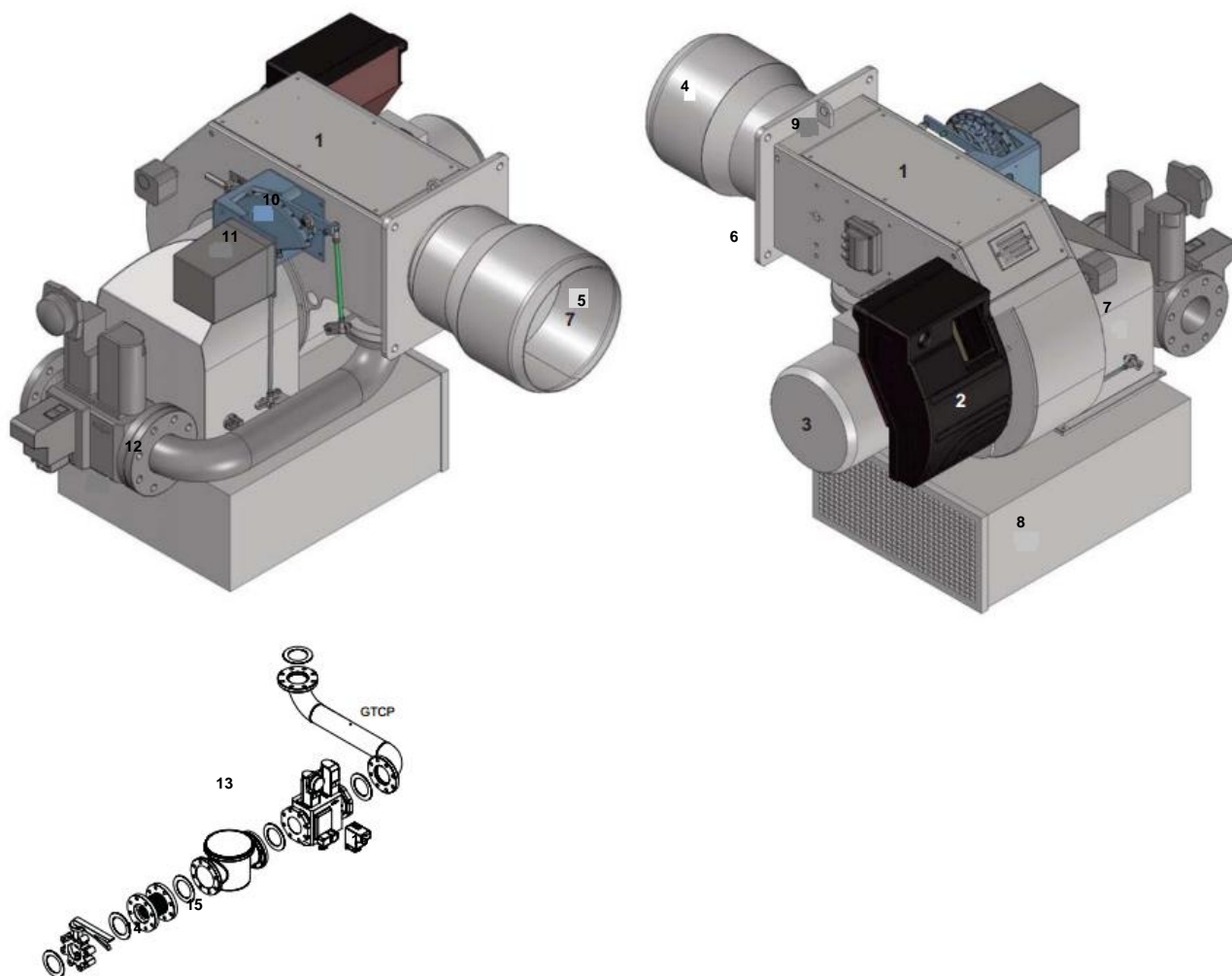


Рисунок 4.3 – Газовая горелка BLU 1200.1 PAB TC:

1 – корпус; 2 – электрическая панель управления; 3 – электродвигатель вентилятора; 4 – труба жаровая; 5 – головка горелки; 6 – крепежный фланец горелки; 7 – регулировка воздушной заслонки; 8 – шумопоглощающий кожух; 9 – подъемные проушины; 10 – механическая регулировка газа; 11 – сервопривод для газа/воздуха; 12 – газовая рампа; 13 – газовый фильтр; 14 – шаровой кран; 15 – антивибрационная вставка; 16 – устройство контроля герметичности; GTCP – соединительная труба газовой рампы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.01.2018.544.02.ПЗ

Лист

22

В таблице 4.2 представлена маркировка газовой горелки BLU 1200.1 PAB TC.

Таблица 4.2 – Маркировка горелки BLU 1200.1 PAB TC

Наименование	Величина
1. Серия, по виду топлива	BLU – газ
2. Типоразмер	1200 кВт
3. Эмиссия	Стандартная, класс 2 – газ EN676 (<120 мг/кВт·ч)
4. Режим работы	2 этапа
5. Длина головки	Короткая

Эксплуатационные характеристики горелки BLU 1200.1 PAB TC даны в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Эксплуатационные характеристики горелки BLU 1200.1 PAB TC

Наименование	Величина
1. Максимальное давление, мбар	35
2. Минимальное давление, мбар	20
3. Удельная теплота сгорания, ккал/Нм <sup>3</sup>	29,320

В таблице 4.4 даны технические характеристики горелки BLU 1200.1 PAB TC.

Таблица 4.4 – Технические характеристики BLU 1200.1 PAB TC

Наименование	Величина
1. Максимальная производительность по теплу, кВт	1100
2. Минимальная производительность по теплу, кВт	290
3. Напряжение электропитания, В	230-400 50 Гц
4. Установленная электрическая мощность, кВт	2,2
5. Двигатель вентилятора, об/мин	2800

#### 4.3 Тепловой расчет котла RS-D 1000

Тепловой расчет водогрейного котла может быть конструктивным или поверочным. Конструктивный расчет выполняется при разработке новых водогрейных котлов специализированными проектно-конструкторскими институтами или конструкторскими бюро котлостроительных заводов. Поверочный расчет котельных агрегатов, выпускаемых промышленностью, выполняется при проектировании источника теплоснабжения, предназначенного для выработки пара или горячей воды.

Тепловой расчет производят для оценки показателей экономии и надежности котла при работе на заданном топливе, выявления необходимых

реконструктивных мероприятий, обеспечивающих высокую надежность и экономичность его эксплуатации при заданных условиях, выбора вспомогательного оборудования и получения исходных материалов для проведения расчетов: аэродинамического, гидравлического, температуры металла и прочности труб, интенсивности износа труб, коррозии.

При тепловом расчете водогрейного котла составляется тепловой баланс, для определения КПД брутто и расчетного расхода топлива.

#### 4.3.1 Исходные данные

1. Марка котла: RS-D 1000.
2. Топливо: газ, месторождение: Бухара-Урал.
3. Теплопроизводительность котла  $Q_k = 1$  МВт.
4. Начальная температура воды  $t_1 = 50$  °С.
5. Максимальная температура воды на выходе из котла  $t_2 = 115$  °С.
6. Давление воды на входе в котел:  $p_1 = 6$  бар.
7. Котел вырабатывает 60% от номинальной полезной тепловой мощности.

#### 4.3.2 Расчетные характеристики топлива

Топливо: газопровод Бухара-Урал.

$$CH_4 = 94,2\%$$

$$C_2H_6 = 2,5\%$$

$$C_3H_8 = 0,4\%$$

$$C_4H_{10} = 0,2\%$$

$$C_5H_{12} = 0,1\%$$

$$N_2 = 2,6\%$$

Низшая теплота сгорания  $Q_n^p = 36,17$  МДж/м<sup>3</sup> = 8640 ккал/м<sup>3</sup>

Плотность при 0 °С и 101,3 кПа  $\rho = 0,752$  кг/м<sup>3</sup>

#### 4.3.3 Расчет объемов воздуха и продуктов сгорания

Коэффициент избытка воздуха по мере движения продуктов сгорания по газоходам котельного агрегата увеличивается. Это обусловлено тем, что давление в газоходах (для котлов, работающих под разрежением) меньше давления окружающего воздуха и через неплотности в обмуровке происходят присосы атмосферного воздуха в газовый тракт агрегата. Обычно при расчетах температуру воздуха, присасываемого в газоходы, принимают равной 30°С.

Для котлов, работающих под наддувом, коэффициент избытка воздуха на участке тракта от топки до воздухоподогревателя принимается постоянным.

Примем коэффициент избытка воздуха в топке:  $\alpha_T = 1,2$ .

					<i>13.03.01.2018.544.02.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24



Определяем теоретический объем воздуха, необходимый для полного горения, по формуле (4.1):

$$V^o = 0,0478 \cdot \left[ 0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \sum(m + \frac{n}{4})C_mH_n - O_2 \right], \quad (4.1)$$

$$V^o = 0,0478 \cdot \left[ \left(1 + \frac{4}{4}\right) \cdot 94,2 + \left(2 + \frac{6}{4}\right) \cdot 2,5 + \left(3 + \frac{8}{4}\right) \cdot 0,4 + \left(4 + \frac{10}{4}\right) \cdot 0,2 + \left(5 + \frac{12}{4}\right) \cdot 0,1 \right] = 9,65 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Определяем теоретический объем продуктов сгорания, по формуле (4.2), (4.3), (4.4), (4.5):

$$V_{N_2}^o = 0,79 \cdot V^o + \frac{N_2}{100}, \quad (4.2)$$

$$V_{N_2}^o = 0,79 \cdot 9,65 + \frac{2,6}{100} = 7,65 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$V_{RO_2}^o = 0,01 \cdot (CO_2 + CO + H_2S + \sum mC_mH_m), \quad (4.3)$$

$$V_{RO_2}^o = 0,01 \cdot (1 \cdot 94,2 + 2 \cdot 2,5 + 3 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1) = 1,017 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$V_{H_2O}^o = 0,01 \cdot (H_2S + H_2 + \sum \frac{n}{2}C_mH_n + 0,124 \cdot d_{z.m.l}) + 0,0161 \cdot V^o, \quad (4.4)$$

$$V_{H_2O}^o = 0,01 \cdot \left( \frac{4}{2} \cdot 94,2 + \frac{6}{2} \cdot 2,5 + \frac{8}{2} \cdot 0,4 + \frac{10}{2} \cdot 0,2 + \frac{12}{2} \cdot 0,1 + 0,124 \cdot 10 \right) + 0,0161 \cdot 9,65 = 2,16 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$V_{c.z}^o = V_{RO_2}^o + V_{N_2}^o, \quad (4.5)$$

$$V_{c.z}^o = 1,017 + 7,65 = 8,66 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Определяем избыточное количество воздуха, по формуле (4.6):

$$V_{изб}^e = V^o \cdot (\alpha_T - 1), \quad (4.6)$$

$$V_{изб}^e = 9,65 \cdot (1,2 - 1) = 1,93 \text{ м}^3/\text{кг}$$

					13.03.01.2018.544.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Определяем действительный объем водяных паров, по формуле (4.7):

$$V_{H_2O}^{\partial} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha_T - 1) \cdot V^0, \quad (4.7)$$

$$V_{H_2O}^{\partial} = 2,16 + 0,0161 \cdot (1,2 - 1) \cdot 9,65 = 2,19 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Определяем действительный суммарный объем продуктов сгорания, по формуле (4.8):

$$V_{\Sigma} = V_{c.z} + V_{uzb}^e + V_{H_2O}^0, \quad (4.8)$$

$$V_{\Sigma} = 8,66 + 1,93 + 2,19 = 12,78 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Определяем объемные доли трехатомных газов, водяных паров, а также суммарную объемную долю, по формулам (4.9), (4.10), (4.11):

$$r_{RO_2} = V_{RO_2} / V_{\Sigma}, \quad (4.9)$$

$$r_{RO_2} = 1,017 / 12,78 = 0,078 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$r_{H_2O} = V_{H_2O} / V_{\Sigma}, \quad (4.10)$$

$$r_{H_2O} = 1,93 / 12,78 = 0,151 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O}, \quad (4.11)$$

$$r_n = 0,078 + 0,151 = 0,229 \text{ м}^3/\text{кг}$$

#### 4.3.4 Расчет энтальпий воздуха и продуктов сгорания

Количество теплоты (кДж), содержащееся в воздухе или продуктах сгорания называют теплосодержанием (энтальпией) воздуха и продуктов сгорания.

При выполнении расчетов принято энтальпию воздуха и продуктов сгорания относить к  $1 \text{ м}^3$  (при нормальных условиях) сжигаемого топлива.

Вычисляем энтальпию теоретического объема воздуха, необходимого для сжигания топлива, для всего выбранного диапазона температур, по формуле (4.12):

$$I_e^0 = V^0 \cdot (c_{\mathcal{G}})_e, \quad (4.12)$$

					13.03.01.2018.544.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

где  $(c\mathcal{G})_e$  - энтальпия 1 м<sup>3</sup> воздуха, кДж/м<sup>3</sup> (принимается для каждой выбранной температуры по [5, с.44, т.2-5]);

$V^o$  - теоретический объем воздуха, необходимый для горения.

Определяем энтальпию теоретического объема продуктов сгорания для всего выбранного диапазона температур, по формуле (4.13):

$$I_z^o = V_{RO_2} \cdot (c\mathcal{G})_{RO_2} + V_{N_2}^o \cdot (c\mathcal{G})_{N_2} + V_{H_2O}^o \cdot (c\mathcal{G})_{H_2O}, \quad (4.13)$$

где  $(c\mathcal{G})_{RO_2}$ ,  $(c\mathcal{G})_{N_2}$ ,  $(c\mathcal{G})_{H_2O}$  - энтальпии 1 м<sup>3</sup> трехатомных газов, теоретического объема азота, теоретического объема водяных паров (принимаются по [5, с.44, т.2-5]);

$V_{RO_2}$ ,  $V_{N_2}^o$ ,  $V_{H_2O}^o$  - объемы трехатомных газов, теоретический объем азота и водяного пара.

Определяем энтальпию избыточного количества воздуха для всего выбранного диапазона температур, по формуле (4.14):

$$I_{изб.}^o = (\alpha - 1) \cdot I_e^o \quad (4.14)$$

Определяем энтальпию продуктов сгорания при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha > 1$ , по формуле (4.15):

$$I = I_z^o + I_{изб.}^o \quad (4.15)$$

Результаты расчета энтальпий продуктов сгорания по газоходам сводим в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Энтальпии воздуха и продуктов сгорания

t, °C	$I_e^o$ , кДж/м <sup>3</sup>	$I_z^o$ , кДж/м <sup>3</sup>	$I_{изб.}^o$ , кДж/м <sup>3</sup>	I, кДж/м <sup>3</sup>
100	1273,8	1492,5	254,7	1747,2
200	2566,9	3008,7	513,3	3522,0
400	5230,3	6168,8	1046,0	7214,8
600	8009,5	9482,0	1601,9	11083,9
800	10904,5	12978,0	2180,9	15158,9
1000	13857,4	16629,5	2771,4	19401,0
1200	16926,1	20332,8	3385,2	23718,1
1400	20033,4	24189,2	4006,6	28195,8
1600	23188,9	28084,1	4637,7	32721,9
1800	26334,8	32056,7	5266,9	37323,7
2000	29567,6	36080,0	5913,5	41993,6

#### 4.3.5 Тепловой баланс котла

При работе водогрейного котла вся поступившая в него теплота расходуется на выработку полезной теплоты, содержащейся в горячей воде, и на покрытие различных потерь теплоты. Суммарное количество теплоты, поступившее в котельный агрегат, называют располагаемой теплотой. Между теплотой, поступившей в котельный агрегат и покинувшей его, должно существовать равенство. Теплота, покинувшая котельный агрегат, представляет собой сумму полезной теплоты и потерь теплоты, связанных с технологическим процессом выработки горячей воды.

Тепловым балансом котла называют равенство располагаемой теплоты сумме полезной теплоты и потерь теплоты, имеющих при работе агрегата. Тепловой баланс составляется применительно к установившемуся тепловому режиму котла, а потери теплоты выражаются в процентах располагаемой теплоты. Все статьи теплового баланса принято относить к 1 м<sup>3</sup> сжигаемого топлива (газа) при нормальных условиях.

Сведение теплового баланса позволяет оценить КПД котла и проверить тепловые расчёты. Выражается в величинах энергии, отнесённых к единице объёма газообразного топлива или в относительном виде, в процентах от располагаемой теплоты.

Тепловой баланс котла для 1 м<sup>3</sup> газа при нормальных условиях имеет вид (4.16):

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (4.16)$$

где  $Q_p^p$  – располагаемая теплота, кДж/кг;

$Q_1$  – полезная теплота, содержащаяся в паре, кДж/кг;

$Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6$  – потери теплоты с уходящими газами, от химической неполноты сгорания, от механической неполноты сгорания, от наружного охлаждения, от физической теплоты, содержащейся в удаляемом шлаке, плюс потери на охлаждение панелей и балок, не включённый в циркуляционный контур котла, кДж/кг.

Величину  $q_2$ , имеющую наибольшее значение, можно снижать, прежде всего снижая избыток воздуха в топке и температуру уходящих газов. С потерями от наружного охлаждения  $q_5$  борются, покрывая котёл теплоизоляцией (это необходимо и по условиям пребывания людей в котельной).

Потеря теплоты с уходящими газами ( $q_2$ ) обусловлена тем, что температура продуктов сгорания, покидающих котельный агрегат, значительно выше температуры окружающего атмосферного воздуха. Потеря теплоты с уходящими газами зависит от вида сжигаемого топлива, коэффициента избытка воздуха в уходящих газах, температуры уходящих газов, чистоты наружных и внутренних

									Лист
									28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.544.02.ПЗ				

поверхностей нагрева, температуры воздуха, забираемого дутьевым вентилятором.

Потерю теплоты  $q_2$ , найдем по формуле (4.17):

$$q_2 = \frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} \cdot I_{x.г}^0) \cdot (100 - q_4)}{Q_p^p}, \quad (4.17)$$

где  $I_{yx}$  - энтальпия уходящих газов, определяется по таблице 4.5 при выбранной температуре уходящих газов кДж/кг, находится по формуле (4.18);

$$\alpha_{yx} = \alpha_T = 1,2$$

$I_{x.г}^0$  - энтальпия теоретического объема холодного воздуха, определяется при  $t_г = 30^\circ\text{C}$ , кДж/кг, находится по формуле (4.19);

$q_4 = 0$  - потеря теплоты от механической неполноты горения (только для твердого топлива).

$$Q_p^p = Q_n^p = 36170 \text{ кДж/кг}$$

$$I_{yx} = \frac{I_б - I_м}{100} \cdot (t_{изг} - t_м) + I_м, \quad (4.18)$$

где  $I_б$  - энтальпия продуктов сгорания при температуре  $200^\circ\text{C}$ , кДж/кг;

$I_м$  - энтальпия продуктов сгорания при температуре  $100^\circ\text{C}$ , кДж/кг;

$t_{изг}$  - температура уходящих газов (по таблице 4.1),  $^\circ\text{C}$ ;

$t_м$  - наименьшая температура (по таблице 4.5),  $^\circ\text{C}$

$$I_{yx} = \frac{3522,089 - 1747,293}{100} \cdot (147 - 100) + 1747,293 = 2581 \text{ кДж/кг}$$

$$I_{x.г}^0 = 39,8 \cdot V^0, \quad (4.19)$$

$$I_{x.г}^0 = 39,8 \cdot 9,65 = 384,07 \text{ кДж/кг}$$

$$q_2 = \frac{(2279,7 - 1,2 \cdot 384,07) \cdot (100 - 0)}{36170} = 5,03\%$$

Потеря теплоты от химической неполноты сгорания ( $q_3$ ), обусловлена появлением в уходящих газах горючих газов  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ . Потеря теплоты от химической неполноты горения зависит от вида топлива и содержания в нем летучих, способа сжигания топлива и конструкции топки, коэффициента избытка

									Лист
									29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.544.02.ПЗ				

воздуха в топке, от уровня и распределения температуры в топочной камере, организации смесеобразовательных процессов в топке (горелке и топочной камере).

$$q_3 = 0,5 \% [18, \text{с.49, т.4.4}]$$

Потеря теплоты от механической неполноты сгорания топлива ( $q_4$ ), отсутствует при сжигании газа и мазута:

$$q_4 = 0 [18, \text{с.49, т.4.4}]$$

Потеря теплоты от наружного охлаждения ( $q_5$ ) обусловлена передачей теплоты от обмуровки агрегата наружному воздуху, имеющему более низкую температуру:

$$q_5 = 5 \% [18, \text{с.50, т.4.6}]$$

#### 4.3.6 Расчёт КПД и расхода топлива

Коэффициентом полезного действия (КПД) водогрейного котла называют отношение полезной теплоты к располагаемой теплоте. Не вся полезная теплота, выработанная агрегатом, направляется к потребителю. Часть выработанной теплоты в виде пара и электрической энергии расходуется на собственные нужды. Под расходом на собственные нужды понимают расход всех видов энергии, затраченной на производство горячей воды. Поэтому различают КПД агрегата брутто и нетто. Если КПД агрегата определяется по выработанной теплоте, то его называют брутто, а если по отпущенной теплоте – нетто.

По уравнению обратного баланса находим КПД брутто, по формуле (4.20):

$$\eta_{\text{бр}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_5), \quad (4.20)$$

$$\eta_{\text{бр}} = 100 - (5,03 + 0,5 + 5) = 89,47 \%$$

Из уравнения прямого теплового баланса находим расход топлива, подаваемого в топку (равному расчетному расходу топлива), по формуле (4.21):

$$B = \frac{Q_{\text{к}}}{Q_{\text{р}}^{\text{п}} \cdot \eta_{\text{бр}}} \cdot 100, \quad (4.21)$$

$$B = \frac{0,6}{36,17 \cdot 89,47} \cdot 100 = 0,03 \text{ м}^3/\text{с}$$

					13.03.01.2018.544.02.ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

#### 4.4 Тепловой расчет топки

Расчет топочной камеры [18] водогрейного котла выполняются с целью выявления экономичности и надежности ее работы. Экономичность работы топки характеризуется минимальными потерями теплоты от химической и механической неполноты горения при максимальных допустимых удельных нагрузках топочного объема и минимальном коэффициенте избытка воздуха.

Расчет топки может быть конструктивным или поверочным. При конструктивном расчете определяются размеры топки и площадь расположенных в ней поверхностей нагрева. При поверочном расчете определяется температура продуктов сгорания на выходе из топочной камеры, производится оценка экономичности и надежности работы топки.

Поверочный расчет топки существующего котла проводится с целью последующей оценки её работы в непроектных условиях, а также для получения данных, которые в качестве исходных используются при расчете элементов котла, расположенных за топкой.

Задачей поверочного расчета топки является определение расчетных параметров работы топки в непроектных условиях при неизменной её конструкции: температуры газов на выходе из топки; лучистого тепла, воспринимаемого поверхностями нагрева топки; теплового напряжения топочного объема, теплового сечения топки в зоне наибольшего тепловыделения, а также теплового напряжения стен топочной камеры.

##### 4.4.1 Геометрические размеры топки

В топках промышленных водогрейных котлов передача теплоты экранным поверхностям нагрева происходит преимущественно за счет теплового излучения. Поверхности нагрева, воспринимающие теплоту за счет излучения, принято называть радиационными или лучевоспринимающими. Теплота, передаваемая радиационным поверхностям нагрева, непосредственно связана с излучательной способностью факела пламени и его температурой.

Топка котла служит для сжигания топлива и получения продуктов сгорания с высокой температурой, а также для организации теплообмена между высокотемпературной средой и поверхностями нагрева. Теплообмен в топке - сложный процесс, который осложняется еще и тем, что в топке происходят одновременно горение и движение топлива. Источником излучения в топке является горящее топливо. Процесс излучения складывается из излучения топлива, газов и обратного излучения тепловоспринимающих и других ограждающих поверхностей. В топочном объеме наблюдается пространственное несимметричное поле температур излучающей среды; максимальная температура, близкая к теоретической, располагается в зоне ядра факела, а минимальная - на выходе из топки. Целью расчета топки является определение температуры газов на выходе из топки. Топка котла RS-D [27] показана на рисунке 4.4.

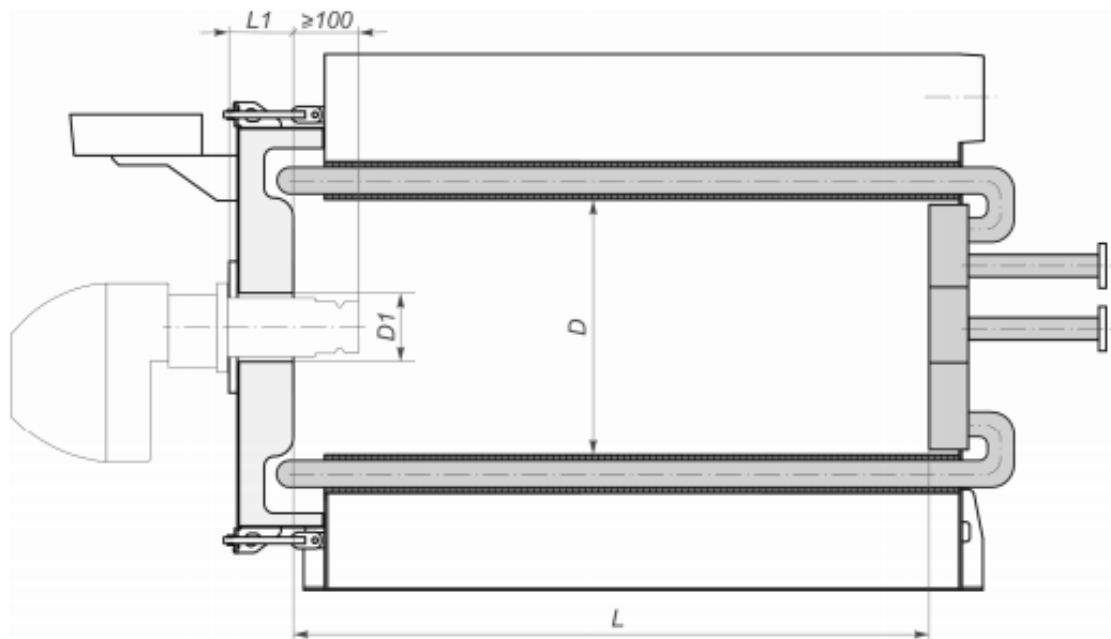


Рисунок 4.4 – Топка котла RS-D 1000

Размеры топки:  $D = 800$  мм;  $D_1 = 2700$  мм;  $L = 2025$  мм;  $L_1 = 231$  мм (по паспорту);

Объем топки:  $V_T = 1,02$  м<sup>3</sup> (по паспорту);

Площадь топки:  $F_T = 5,99$  м<sup>2</sup> (по паспорту);

Параметры топочных труб: 89x3,5 мм;

Подача:  $D_y = 100$  мм;

Обратная:  $D_y = 100$  мм;

Площадь люка  $F_n = 0,8478$  м<sup>2</sup>.

#### 4.4.2 Расчёт теплообмена в топке

Расчет теплообмена в топках [18] водогрейных котлов основывается на приложении теории подобия к топочным процессам. Для расчета теплообмена в однокамерных и полуоткрытых топках рекомендуется формула, связывающая безразмерную температуру продуктов сгорания на выходе из топки ( $\Theta_T''$ ) с критерием Больцмана ( $Bo$ ), степенью черноты топки ( $a_T$ ) и параметром ( $M$ ), учитывающим характер распределения температур по высоте топки.

Безразмерную температуру продуктов сгорания на выходе из топки ( $\Theta_T''$ ) находят по формуле (4.22):

$$\Theta_T'' = \frac{T_T''}{T_a} = \frac{Bo^{0,6}}{M \cdot a_T^{0,6} + Bo^{0,6}}, \quad (4.22)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Безразмерная температура продуктов сгорания на выходе из топки ( $\Theta_T''$ ) представляет собой отношение действительной абсолютной, температуры на выходе из топки ( $T_T'$ ) к абсолютной теоретической температуре продуктов сгорания ( $T_a$ ). Адиабатическая температура горения  $T_a$  – это такая температура газов, которая была бы в топке, если бы в ней отсутствовал какой-либо теплообмен, и все выделяющееся тепло затрачивалось на нагрев дымовых газов, т. е. в адиабатных условиях горения.

Критерий Больцмана представляет собой характеристическое число, контролирующее соотношение между конвективным переносом теплоты и излучением абсолютно черного тела при температуре рассматриваемого элементарного объема.

Критерий Больцмана вычисляется по формуле (4.23):

$$Bo = \frac{\varphi \cdot B \cdot V_{c_{cp}} \cdot 10^3}{5,67 \cdot 10^8 \cdot \psi_{cp} \cdot F_{cm} \cdot T_a^3}, \quad (4.23)$$

где  $\varphi$  - коэффициент сохранения теплоты;

$B$  - расчетный расход топлива, кг/с;

$V_{c_{cp}}$  - средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 кг топлива в интервале температур  $\Theta_a - \Theta_T''$ , кДж/(кг·К);

$5,67 \cdot 10^8$  - коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);

$\psi_{cp}$  - среднее значение коэффициента тепловой эффективности экранов;

$F_{cm}$  - площадь поверхности стен топki, м<sup>2</sup>;

$T_a$  - абсолютная теоретическая температура продуктов сгорания, К.

Степень черноты топki ( $a_T$ ) называют отношение излучательной способности действительной топki к излучательной способности абсолютно черного тела. Степень черноты топki зависит от излучательной способности пламени факела (слоя горящего топлива), конструкции тепловоспринимающих поверхностей нагрева и степени их загрязнения.

Коэффициент пропорциональности ( $k$ ), определяющий относительное изменение интенсивности луча в поглощающем слое единичной толщины, называют коэффициентом ослабления луча. Он определяет интенсивность ослабления лучей в поглощающей среде и, следовательно, характеризует полную поглощательную способность среды, определяемую как поглощением, так и рассеянием.

В топочной камере основными газами, способными поглощать тепловые лучи, являются трехатомные газы, состоящие из  $RO_2$  и водяных паров  $H_2O$ . Поглощательная способность  $RO_2$  при постоянном давлении и температуре однозначно определяется произведением его парциального давления ( $p_{CO_2}$ ) и толщины слоя ( $s$ ).

										Лист
										33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2018.544.02.ПЗ

Поглощательная способность водяного пара при заданной температуре зависит от двух величин:

1) от произведения парциального давления водяного пара и толщины слоя ( $p_{H_2O} \cdot s$ );

2) от толщины слоя ( $s$ ) либо от парциального давления ( $p_{H_2O}$ ).

Коэффициент ослабления лучей – это основная характеристика любой мутной среды, определяющая, ее излучательную, рассеивающую и поглощательную способности. Поэтому применительно к топкам котельных агрегатов задача сводится к определению коэффициента ослабления лучей в зависимости от характера пламени.

При расчете несветящихся пламен необходимо определить коэффициент ослабления лучей только трехатомными газами, полусветящихся пламен – дополнительно коэффициенты ослабления лучей частицами золы и кокса, а светящихся – частицами сажи.

Параметр  $M$  учитывает распределение температуры по высоте топочной камеры и характеризует влияние максимума температуры пламени на эффект суммарного теплообмена. Он зависит от вида топлива, способа его сжигания, типа горелок, их расположения на стенах топки и функционально связан с относительным уровнем расположения горелок по высоте топочной камеры.

Предварительно зададимся температурой продуктов сгорания на выходе из топочной камеры:

$$T_T'' = 1300^\circ\text{C}$$

Для выбранной температуры принимаем энтальпию продуктов сгорания по таблице 4.5:

$$I = 25957 \text{ кДж/кг}$$

Полезное тепловыделение в топке, вычисляется по формуле (4.24):

$$Q_T = Q_p^p \cdot \frac{100 - q_3}{100} + Q_{\text{в}}, \quad (4.24)$$

где  $Q_{\text{в}}$  - теплота, вносимая в топку воздухом, кДж/кг, найдем по формуле (4.25):

$$Q_{\text{в}} = \alpha_T \cdot I_{x,\text{в}}^0, \quad (4.25)$$

где  $I_{x,\text{в}}^0$  - энтальпия теоретического объема холодного воздуха, кДж/кг, определяется по формуле (4.26):

$$I_{x,\text{в}}^0 = 39,8 \cdot V^0, \quad (4.26)$$

					<i>13.03.01.2018.544.02.ПЗ</i>	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$I_{x.6}^0 = 39,8 \cdot 9,65 = 384,07$$

$$Q_6 = 1,2 \cdot 384,07 = 461 \text{ кДж/кг}$$

$$Q_T = 36170 \cdot \frac{100 - 0,5}{100} + 461 = 36450 \text{ кДж/кг}$$

Коэффициент тепловой эффективности экранов, находится по формуле (4.27):

$$\psi = \chi \cdot \zeta, \quad (4.27)$$

где  $\chi = 0,7$  [18, с.57, рис. 5.3.] – угловой коэффициент;

$\zeta = 0,65$  [18, с.62, т.5.1] – коэффициент загрязнения учитывает снижение тепловосприятости экранных поверхностей нагрева вследствие их загрязнения внешними отложениями или закрытия огнеупорной массой.

$$\psi = 0,7 \cdot 0,65 = 0,455$$

Эффективная толщина излучающего слоя, определяется по формуле (4.28):

$$s = 3,6 \cdot \frac{V_T}{F_T}, \quad (4.28)$$

$$s = 3,6 \cdot \frac{1,02}{5,99} = 0,6 \text{ м}$$

Коэффициент ослабления лучей по формуле (4.29):

$$k = k_{\Gamma} \cdot r_{\Pi} + k_c, \quad (4.29)$$

где  $k_{\Gamma}$  – коэффициент ослабления лучей трехатомными газами,  $(\text{м} \cdot \text{МПа})^{-1}$ , определяется по формуле (4.30);

$r_{\Pi}$  – суммарная объемная доля трёхатомных газов;

$k_c$  – коэффициент ослабления лучей сажистыми частицами,  $(\text{м} \cdot \text{МПа})^{-1}$ , определяется по формуле (4.31).

Найдем коэффициент ослабления лучей трехатомными газами  $k_{\Gamma}$ :

$$k_{\Gamma} = \left( \frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \cdot \sqrt{p_{\Pi} \cdot s}} - 1 \right) \cdot \left( 1 - 0,37 \cdot \frac{T_T''}{1000} \right), \quad (4.30)$$

где  $p_{II} = r_{II} \cdot p$  – парциальное давление трёхатомных газов, МПа (для агрегатов, работающих без наддува:  $p = 0,1$  МПа [10]).

$$k_{\Gamma} = \left( \frac{7,8 + 16 \cdot 0,151}{3,16 \cdot \sqrt{0,1 \cdot 0,229 \cdot 0,6}} - 1 \right) \cdot \left( 1 - 0,37 \cdot \frac{1300}{1000} \right) = 13,8 (\text{м} \cdot \text{МПа})^{-1}$$

$$k_c = 0,3 \cdot (2 - \alpha_T) \cdot \left( 1,6 \cdot \frac{T''}{1000} - 0,5 \right) \cdot \frac{C^P}{H^P}, \quad (4.31)$$

где  $\frac{C^P}{H^P} = 0,12 \sum \frac{m}{n} C_m H_n$  – при сжигании природного газа

$$\frac{C^P}{H^P} = 0,12 \cdot \left( \frac{1}{4} \cdot 94,2 + \frac{2}{6} \cdot 2,5 + \frac{3}{8} \cdot 0,4 + \frac{4}{10} \cdot 0,2 + \frac{5}{12} \cdot 0,1 \right) = 2,95$$

Найдем коэффициент ослабления лучей сажистыми частицами  $k_c$ :

$$k_c = 0,3 \cdot (2 - 1,2) \cdot \left( 1,6 \cdot \frac{1300}{1000} - 0,5 \right) \cdot 2,95 = 1,11$$

Определим коэффициент ослабления лучей  $k$ :

$$k = 13,8 \cdot 0,229 + 1,11 = 4,3 (\text{м} \cdot \text{МПа})^{-1}$$

Суммарная оптическая толщина среды по формуле (4.32):

$$kps, \quad (4.32)$$

$$kps = 4,3 \cdot 0,1 \cdot 0,6 = 0,258$$

Степень черноты среды заполняющей топку, по формуле (4.33):

$$a_{\phi} = 1 - \exp^{-kps}, \quad (4.33)$$

$$a_{\phi} = 1 - \exp^{-0,258} = 0,227$$

Степень черноты топки, находим по формуле (4.34):

					13.03.01.2018.544.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

$$a_{ч.Т} = \frac{a_{\phi}}{a_{\phi} + (1 - a_{\phi}) \cdot \psi_{ср}}, \quad (4.34)$$

$$a_{ч.Т} = \frac{0,227}{0,227 + (1 - 0,227) \cdot 0,455} = 0,4$$

Параметр  $M$  зависит от относительного положения максимума температуры пламени по высоте топки ( $x_T$ ), определяется по формуле (4.35):

$$M = 0,54 - 0,2 \cdot x_T, \quad (4.35)$$

где  $x_m = 0,274$  – относительное положение максимума температуры.

$$M = 0,54 - 0,2 \cdot 0,274 = 0,48$$

Средняя суммарная теплоёмкость продуктов сгорания на 1 кг топлива при нормальных условиях, определяется по формуле (4.36):

$$V_{ср} = \frac{Q_T - I_T''}{T_a - T_T''}, \quad (4.36)$$

где  $Q_T$  – полезное тепловыделение в топке, кДж/кг;

$I_T''$  – энтальпия продуктов сгорания берется из таблицы 4.5 при принятой на выходе из топки температуре;

$T_a = 2023\text{ К}$  – теоретическая температура горения, определяется из таблицы 4.5 по значению  $Q_T$ , равному энтальпии продуктов сгорания  $I$ ;

$T_T'' = 1573\text{ К}$  – температура (абсолютная) на выходе из топки, принятая по предварительной оценке.

$$V_{ср} = \frac{36450 - 25957}{2023 - 1573} = 23,3 \text{ кДж/К}$$

Действительная температура на выходе из топки, находим по формуле (4.37):

$$g_T'' = \frac{T_a}{M \cdot \left( \frac{5,67 \cdot \psi_{ср} \cdot F_{ср} \cdot a_{ч.Т} \cdot T_a^3}{10^{11} \cdot \varphi \cdot B \cdot V_{ср}} \right)^{0,6} + 1} - 273, \quad (4.37)$$

$$g_T'' = \frac{2023}{0,48 \cdot \left( \frac{5,67 \cdot 0,455 \cdot 5,99 \cdot 0,4 \cdot 2023^3}{10^{11} \cdot 0,981 \cdot 0,03 \cdot 23,3} \right)^{0,6} + 1} - 273 = 1296^\circ\text{C}$$

Удельная нагрузка топочного объёма, находим по формуле (4.38):

$$q_V = \frac{B \cdot Q_n^p}{V_T}, \quad (4.38)$$

$$q_V = \frac{0,03 \cdot 36170}{1,02} = 1064 \text{ кВт/м}^3$$

#### 4.5 Конвективный теплообмен оребренной трубы

Конвективные поверхности нагрева водогрейных котлов играют важную роль в процессе получения горячей воды, а также использования теплоты продуктов сгорания, покидающих топочную камеру. Эффективность работы конвективных поверхностей нагрева в значительной мере зависит от интенсивности передачи теплоты продуктами сгорания воде.

При расчете конвективных поверхностей нагрева используется уравнение теплопередачи и уравнение теплового баланса.

Коэффициент теплопередачи ( $K$ ) является расчетной характеристикой процесса и всецело определяется явлениями конвекции, теплопроводности и теплового излучения.

Из уравнения теплопередачи ясно, что количество теплоты, переданное через заданную поверхность нагрева, тем больше, чем больше коэффициент теплопередачи и разность температур продуктов сгорания и нагреваемой жидкости. Очевидно, что поверхности нагрева, расположенные в непосредственной близости от топочной камеры, работают при большей разности температуры продуктов сгорания и температуры воспринимающей теплоту среды. По мере движения продуктов сгорания по газовому тракту температура их уменьшается, и хвостовые поверхности нагрева работают при меньшем перепаде температур продуктов сгорания и нагреваемой среды. Поэтому чем дальше расположена конвективная поверхность нагрева от топочной камеры, тем большие размеры должна она иметь и тем больше металла расходуется на ее изготовление.

Уравнение теплового баланса показывает, какое количество теплоты отдают продукты сгорания воде через конвективную поверхность нагрева.

Количество теплоты ( $Q_o$ ), отданное продуктами сгорания приравнивается к теплоте, воспринятой водой. Для расчета задаются температурой продуктов сгорания после рассчитываемой поверхности нагрева и затем уточняют ее путем

									Лист
									38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.544.02.ПЗ				

последовательных приближений. В связи с этим расчет ведут для двух значений температуры продуктов сгорания после рассчитываемого газохода.

Количество теплоты, воспринимаемое поверхностью нагрева, на 1 кг топлива, кДж/кг вычисляется по формуле (4.39):

$$Q_k = \frac{K \cdot H \cdot \Delta t}{B_p \cdot 10^3}, \quad (4.39)$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи, отнесенный к расчетной поверхности нагрева, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$H$  – расчетная поверхность нагрева, м<sup>2</sup>;

$\Delta t$  – температурный напор, °С;

$B_p$  – расчетный расход топлива, кг/с;

Уравнение теплового баланса, вычисляется по формуле (4.40):

$$Q_{\bar{o}} = \varphi \cdot (I' - I'' + \Delta\alpha \cdot I_{nrc}^0), \quad (4.40)$$

где  $\varphi$  – коэффициент сохранения теплоты, учитывающий потери теплоты от наружного охлаждения;

$I' = 23718,1$  кДж/кг – энтальпия продуктов сгорания на входе в поверхность нагрева, определяется по таблице 4.5 при температуре и коэффициенте избытка воздуха после поверхности нагрева, предшествующей рассчитываемой поверхности;

$I'' = 2581$  кДж/кг – энтальпия продуктов сгорания после рассчитываемой поверхности нагрева, определяется по таблице 4.5 при температуре уходящих газов равной 147 °С;

$\Delta\alpha$  – присос воздуха в конвективную поверхность нагрева;

$I_{nrc}^0$  – количество теплоты, вносимое присасываемым в газоход воздухом, кДж/кг.

$$Q_{\bar{o}} = 0,981 \cdot (23718,1 - 2581 + 1,3 \cdot 384,07) = 21225 \text{ кДж/кг}$$

Определим энтальпию воды, по формуле (4.41):

$$i''_k = \frac{B_p \cdot Q_{\bar{o}}}{D + D_{np}} + i'_k, \quad (4.41)$$

где  $i'_k = 482,55$  кДж/кг – энтальпия воды на выходе из котла [14];

$D$  – теплопроизводительность котла, кг/с;

$D_{np} = 1$  кг/с – расход продувочной воды.

					13.03.01.2018.544.02.ПЗ	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$i_k'' = \frac{0,03 \cdot 21225}{1+1} + 482,55 = 800 \text{ кДж/кг}$$

Температура воды после котла  $t_k'' = 188,5^\circ\text{C}$  [14]

Определим температурный напор по формуле (4.42):

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\bar{o}} - \Delta t_{\bar{m}}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\bar{o}}}{\Delta t_{\bar{m}}}}, \quad (4.42)$$

где  $\Delta t_{\bar{o}}$  и  $\Delta t_{\bar{m}}$  - большая и меньшая разности температуры продуктов сгорания и температуры нагреваемой жидкости,  $^\circ\text{C}$ .

$$\Delta t_{\bar{o}} = 1196 - 147 = 1049 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\bar{m}} = 188,5 - 100 = 88,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{1049 - 88,5}{2,3 \cdot \lg \frac{1049}{88,5}} = 388,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Определим действительную скорость продуктов сгорания в поверхности нагрева, по формуле (4.43):

$$\omega_{\Gamma} = \frac{B_p \cdot V_{\Sigma} \cdot (\vartheta + 273)}{F_k \cdot 273}, \quad (4.43)$$

где  $B_p$  – расчётный расход топлива, кг/с;

$V_{\Sigma}$  – объем продуктов сгорания на 1 кг топлива  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;

$\vartheta$  – средняя расчётная температура продуктов сгорания,  $^\circ\text{C}$ , определяется по формуле (4.44);

$F_k$  – площадь живого сечения для прохода продуктов сгорания,  $\text{м}^2$ , определяется по формуле (4.45).

$$\vartheta = \frac{\vartheta' + \vartheta''}{2}, \quad (4.44)$$

где  $\vartheta'_{\text{эк}}$  и  $\vartheta''_{\text{эк}}$  - температура продуктов сгорания на входе и выходе из топки,  $^\circ\text{C}$

					13.03.01.2018.544.02.ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



$$g = \frac{1196 + 147}{2} = 671,5^{\circ}\text{C}$$

$$F_{\kappa} = z_1 \cdot F, \quad (4.45)$$

где  $z_1$  – число труб в ряду (принимается равным 10).

$F = 0,12$  [18, с.90, т.6.3] – площадь живого сечения для прохода продуктов сгорания одной трубы;

$$F = 10 \cdot 0,12 = 1,2 \text{ м}^2$$

$$\omega_{\Gamma} = \frac{0,03 \cdot 12,78 \cdot (671,5 + 273)}{1,2 \cdot 273} = 1,1 \text{ м/с}$$

Определяем коэффициент теплоотдачи конвекцией от продуктов сгорания к поверхности нагрева по формуле (4.46):

$$\alpha_{\kappa} = \alpha_n \cdot c_z \cdot c_s \cdot c_{\phi}, \quad (4.46)$$

где  $\alpha_n$  - коэффициент теплоотдачи [1, с.83];

$c_z$  - поправка на число рядов труб по ходу продуктов сгорания [1, с.83];

$c_s$  - поправка на компоновку пучка [1, с.83];

$c_{\phi}$  - коэффициент, учитывающий влияние изменения физических параметров потока [1, с.83].

$$\alpha_{\kappa} = 15 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,95 = 14,25 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Определяем коэффициент теплопередачи по формуле (4.47):

$$K = \psi \cdot \alpha_{\kappa}, \quad (4.47)$$

где  $\psi = 0,9$  - коэффициент тепловой эффективности [18, с.80, т.6.2].

$$K = 0,9 \cdot 14,25 = 12,83 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Определим площадь поверхности нагрева по формуле (4.48):

$$H = \frac{10^3 \cdot Q_{\delta} \cdot B_p}{K \cdot \Delta t}, \quad (4.48)$$

					13.03.01.2018.544.02.ПЗ	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$H_{\text{эк}} = \frac{10^3 \cdot 21225 \cdot 0,03}{12,83 \cdot 388,8} = 127 \text{ м}^2$$

Количество теплоты, воспринимаемое поверхностью нагрева, на 1 кг топлива:

$$Q_{\text{к}} = \frac{12,83 \cdot 127 \cdot 388,8}{0,03 \cdot 10^3} = 21117 \text{ кДж/кг}$$

#### 4.6 Расчетная невязка теплового баланса

Расчетная невязка теплового баланса определяется по формуле (4.49):

$$\delta Q = \frac{|\Delta Q|}{Q_p^p \cdot \eta_{\text{бр}}} \cdot 100\%, \quad (4.49)$$

где  $\Delta Q$  - суммарное количество теплоты, воспринятое всеми поверхностями нагрева котельного агрегата, кДж/кг, определяется по формуле (4.50).

$$\Delta Q = Q_p^p \cdot \eta_{\text{бр}} - (Q_{\text{л}} + Q_{\text{к}}) \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right), \quad (4.50)$$

где  $Q_{\text{л}}$  - общее тепловосприятие топки из расчета на 1 м<sup>3</sup> топлива, кДж/м<sup>3</sup>, определяется по формуле (4.51);

$Q_{\text{к}}$  - количество теплоты, воспринятое лучевоспринимающими поверхностями топки, конвективной поверхностью, кДж/кг.

$$Q_{\text{л}} = \varphi \cdot (Q_T - I_T'') \quad (4.51)$$

где  $\varphi$  - коэффициент сохранения теплоты, учитывающий потери теплоты от наружного охлаждения;

$Q_T$  - полезное тепловыделение в топке, кДж/кг;

$I_T''$  - энтальпия продуктов сгорания берется из таблицы 4.5 при температуре на выходе из топки, кДж/кг;

$$Q_{\text{л}} = 0,981 \cdot (36450 - 25957) = 10294 \text{ кДж/кг}$$

$$\Delta Q = 36170 \cdot 0,8947 - (10294 + 21117) \cdot (1 - 0) = 951 \text{ кДж/кг}$$

Невязка теплового баланса составит:

					13.03.01.2018.544.02.ПЗ	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\delta Q = \frac{|951|}{36170 \cdot 0,8947} \cdot 100\% = 2,9\%$$

Т.к. ошибка в расчете баланса котла составила не более 5%, расчеты верны.

#### 4.7 Выбор вспомогательного оборудования

##### 4.7.1 Расчет циркуляционных насосов

Циркуляционные насосы предназначены для создания и поддержания циркуляции в тепловой сети. Насосы устанавливаются на обратном трубопроводе тепловой сети, где температура воды не превышает 70 °С [17].

Циркуляционные насосы выбирают по расходу сетевой воды; напор насосов выбирается из условия преодоления гидравлического сопротивления теплотрассы при расчетном максимальном расходе воды, сопротивления котельной и соединительных трубопроводов с 10%-м запасом по напору и производительности.

Расчетная производительность циркуляционного насоса, м<sup>3</sup>/час, определяется по формуле (4.52):

$$Q_n = \frac{N}{1,16 \cdot \Delta t}, \quad (4.52)$$

где  $N = 1000000$  Вт – мощность котла;

1,16 – теплоемкость воды;

$\Delta t = 20^\circ\text{C}$  – разница температуры воды на подаче и обратке (для систем с радиаторами).

$$Q_n = \frac{1000000}{1,163 \cdot 20} = 43103 \text{ л/час} = 43,1 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Расчетный напор для насоса, м, определяется по формуле (4.53):

$$H_n = \frac{R \cdot L \cdot ZF}{10000}, \quad (4.53)$$

где  $R$  – потери, которые вызваны трением в трубах, Па/м (принимается 80 Па/м)

$L$  – протяженность обратного и прямого трубопроводов длинной ветки, м;

$ZF = 1,5$  – коэффициент гидравлического сопротивления котла;

10000 – коэффициент пересчета единиц (м и Па).

					13.03.01.2018.544.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

$$H_n = \frac{80 \cdot 1000 \cdot 1,5}{10000} = 12 \text{ м}$$

#### 4.7.2 Выбор циркуляционных насосов

Принимается к установке циркуляционный насос марки «Calpeda» (производство Италия) [28]. Насос центробежный консольного типа моноблочный с прямым соединением двигатель-насос и общим валом. Корпус насоса чугунный с осевым всасывающим патрубком и верхним радиальным подающим патрубком. Уплотнение вала угольно – керамическая NBR муфта. Рабочее давление – до 1 МПа, рабочая температура – до 140 °С. Низкое энергопотребление, низкие шумовые характеристики. В таблице 4.6 представлены технические характеристики центробежного насоса марки «Calpeda» NM 50\12FE.

Таблица 4.6 – Технические характеристики центробежного насоса «Calpeda» NM 50\12FE

Параметр	Величина
1 Производительность, м <sup>3</sup> /ч	50
2 Напор, м вод ст	12
3 Электрическая мощность, кВт	2,2

## 5 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

### 5.1 Нормативно-правовая и нормативно-техническая база энергосбережения

Согласно федеральному закону от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ» [20]: целью является создание правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Правовое регулирование в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности основывается на следующих принципах: эффективное и рациональное использование энергетических ресурсов; поддержка и стимулирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности; системность и комплексность проведения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности; планирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности; использование энергетических ресурсов с учетом ресурсных, производственно-технологических, экологических и социальных условий.

Энергосбережение – комплекс мер или действий, предпринимаемых для обеспечения более эффективного использования энергетических ресурсов, например мероприятия, направленные на достижение экономии топлива и энергии, рациональное их использование, замещение дефицитных и дорогих энергоресурсов и энергоносителей другими, более доступными и дешевыми (замена нефти углем, нетрадиционными возобновляемыми источниками энергии).

За последнее столетие мировое энергопотребление возросло более чем в 5 раз и превысило 12 млрд. т условного топлива в год.

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК), являясь основой экономики, призван обеспечивать настоящие и будущие энергетические потребности страны.

Энергосбережение следует рассматривать в двух аспектах [9].

*Первый аспект* состоит в снижении физического объема топлива и (или) энергии, расходуемых на единицу выпускаемой продукции или национального дохода, т.е. в экономии органического и ядерного топлива, электрической и тепловой энергии.

*Второй аспект* – это мероприятия, реализация которых обеспечивает достижение экономического эффекта благодаря совершенствованию структуры самого энергетического баланса, а также замещению энергией трудовых ресурсов (например, повышение производительности труда) или дорогих и дефицитных материалов. К этому аспекту энергосбережения относятся и мероприятия, при которых экономический эффект достигается при дополнительном расходе энергоресурсов, но при этом обеспечиваются повышение качества, надежности и срока службы выпускаемой продукции или организация производства новой продукции с улучшенными потребительскими свойствами, повышение комфортности жилья, улучшение условий и безопасности труда. Снижение

										Лист
										45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.544.02.ПЗ					

негативного воздействия на окружающую среду. Такие мероприятия будут повышать экономическую эффективность и в определенной мере носить энергосберегающий характер.

Общая экономия ресурсов в народном хозяйстве в результате всех энергосберегающих мероприятий формируется как сумма экономии первичных энергоресурсов, достигаемой в сфере потребления в неэнергетической части производительных сил благодаря совершенствованию энергетического хозяйства потребителей и в самом топливно-энергетическом комплексе.

В вопросах энергосбережения и повышения энергоэффективности важно организовать четкое взаимодействие с бизнес - сообществом, а также задействовать человеческий фактор, обеспечив информационную и образовательную поддержку мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности использования топливно-энергетических ресурсов на международном, федеральном, региональном и муниципальном уровнях.

В условиях сложившихся темпов развития научно-технического прогресса в мире если не провести настоящей реформы в энергетике страны, то в ближайшем будущем ТЭК окажется тормозом ее развития. Объемы производства топливно-энергетических ресурсов смогут обеспечить лишь внутренние потребности страны. В этом случае экспорт этих энергоресурсов из России должен быть практически прекращен с потерей внешних рынков, валютного дохода и источников финансирования отечественной промышленности.

Энергосбережение играет ключевую роль в снижении энергоемкости национальной экономики и существенно влияет на темпы роста ВВП.

Необходимо усиление роли государства в плане реализации законов и федеральных программ по энергоэффективности и энергосбережению. Одна из главных задач - запуск механизмов стимулирования к энергосбережению.

Ключевое место в Энергетической стратегии России на период до 2020 года принадлежит проблеме энергоэффективности и управления спросом на энергию.

Сохранение высоких темпов экономического роста национальной экономики возможно только при условии повышения уровня энергосбережения в промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве, при производстве, транспортировке и распределении энергии.

Главной движущей силой в проведении энергосберегающей политики является государственный сектор, а ее экономической основой – самокупаемость затрат на выполнение энергоэффективных проектов, включенных в федеральные и региональные программы энергосбережения.

Реализация комплекса мер правового, административного и экономического характера, намеченных в энергетической стратегии и стимулирующих энергосбережение, будет способствовать устойчивому развитию экономики России, обеспечивая тем самым ее энергетическую безопасность, представляющую собой неотъемлемую часть всей системы национальной и экономической безопасности Российской Федерации. Российская Федерация располагает одним из самых больших в мире технических потенциалов

повышения энергоэффективности, который составляет более 40% от уровня потребления энергии. Ресурс повышения энергоэффективности следует рассматривать как один из основных энергетических ресурсов будущего экономического роста.

## 5.2 Основные направления энергосбережения в России

Существует три крупных направления энергосбережения.

Первое – рационализация использования топлива и энергии. В отличие от развитых стран, в России значительное количество энергоресурсов расходуется на производство неконкурентоспособных товаров, строительство объектов с повышенной теплоотдачей, с потерями в промышленности и сельском хозяйстве. За счет реализации этого направления можно сократить потребность в топливе и энергии на 12-15%.

Второе направление связано со структурной перестройкой экономики, изменением темпов развития энергоемких и менее энергоемких отраслей.

Третье направление предусматривает внедрение энергосберегающих технологий, процессов, аппаратов и оборудования в наиболее энергоемких отраслях. В этом направлении представляется возможным снизить потребность страны в энергоресурсах на 25-30%.

По климатическим условиям затраты топлива как на обеспечение населения теплом, так и на выпуск продукции в России наиболее высоки. Россия - самая холодная в мире страна, как по длительности отопительного сезона, так и доле населения, проживающей в областях, где наблюдается отрицательная среднегодовая температура. Обогрев, снабжение горячей водой и теплым вентиляционным воздухом каждого жителя России требуют больших затрат топлива, чем Канаде и Скандинавии. Больше энергии требует обогрев общественных зданий и промышленных предприятий. Большими непроизводительными затратами энергии сопровождается транспортировка теплоносителей по тепловым сетям [11].

По сравнению со странами западной Европы и Соединенными Штатами Америки энергетические ресурсы используются недостаточно эффективно. И с учетом поправок на климат удельные затраты на единицу продукции в России существенно выше. Наша страна обладает самым высоким потенциалом энергосбережения. По различным оценкам доля энергии, которую можно сэкономить составляет от 30 до 40% топливно-энергетического баланса страны.

Месторождения топлива в России сосредоточены в отдаленных и труднодоступных местах (Западная Сибирь, Заполярье). В результате затраты на добычу топлива, его транспортировку, на освоение новых месторождений выше, чем в других нефтедобывающих странах.

Старение и уменьшение эффективности энергетического оборудования: электростанций, котельных, тепловых сетей, теплоиспользующих установок. Недостаток средств на строительство новых энергетических объектов.

Кризисное состояние энергетики, связанное со спадом производства во всех отраслях ТЭК; низким техническим уровнем основного оборудования ТЭК, быстро растущей его изношенностью и, как следствие, высокой стоимостью производимых ТЭР; спадом инвестиций в отрасли ТЭК и т.д., снижает энергобезопасность страны. Повышение эффективности использования энергии может стать двигателем устойчивого экономического роста в России, поскольку энергетика - основа экономики и существования любого цивилизованного государства.

Энергосбережение имеет важное значение для развития мировой экономики и в особенности для развития экономики нашей страны. Это обусловлено следующими основными причинами:

Постепенное истощение запасов, усложнение добычи и увеличение стоимости природного органического топлива, которое в настоящее время трудно заменить другими, в т.ч. возобновляемыми источниками энергии.

Результатом роста цен на топливо становится рост цен на товары и услуги и общее замедление темпов экономического роста, либо прямое снижение жизненного уровня.

Усложнение экологической ситуации, связанное с увеличением выбросов токсичных и канцерогенных (вызывающих возникновение злокачественных опухолей, например, бензаперен) продуктов сгорания, а также веществ, разрушающих озоновый слой атмосферы.

Выбрасываемые при сжигании топлива в атмосферу вещества (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>x</sub>) и продукты их химических превращений в атмосфере приводят к разрушению озонового слоя, усилению парникового эффекта, появлению кислотных дождей. Увеличивая рост эмиссии углекислого газа, человечество вносит свою долю в общее повышение температуры земной поверхности и изменение климата. Существующие методы очистки - не могут полностью избавить от негативных последствий выбросов. Одновременно загрязняются и поверхностные водоемы - как за счет их нагрева, так и при промывке продуктов сгорания.

Значительный вред окружающей среде наносится не только при сжигании топлива, но и при его добыче, обработке, транспортировке, захоронении его отходов. Кроме постоянного, так сказать «планируемого» загрязнения, все чаще происходят чрезвычайные случаи, таких как разливы нефти при авариях танкеров, разрывах нефтепроводов, утечки газов из емкостей, самовозгорание запасов угля. Многие из них не только наносят вред окружающей среде, но и представляют опасность для жизни и здоровья людей.

### 5.3 Энергосбережение в промышленных и промышленно-отопительных котельных

1) Составление руководств и режимных карт эксплуатации, управления и обслуживания оборудования и периодический контроль со стороны руководства учреждения за их выполнением 5-10 % от потребляемого топлива [13].

										Лист
										48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2018.544.02.ПЗ



- 2) Поддержание оптимального значения коэффициента избытка воздуха 1-3%.
- 3) Установка водяного поверхностного экономайзера за котлом до 5-6%.
- 4) Применение за котлоагрегатами установок глубокой утилизации тепла, установок использования скрытой теплоты парообразования уходящих дымовых газов (контактный теплообменник) до 15%.
- 5) Повышение температуры питательной воды на входе в барабан котла 2% на каждые 10 °С.
- 6) Подогрев питательной воды в водяном экономайзере 1% на каждые 6 °С.
- 7) Содержание в чистоте наружных и внутренних поверхностей нагрева котла до 10 %.
- 8) Использование тепловыделений от котлов путем забора теплого воздуха из верхней зоны котельного зала и подачи его во всасывающую линию дутьевого вентилятора 1-2%.
- 9) Теплоизоляция наружных и внутренних поверхностей котлов и теплопроводов, уплотнение тракта и клапанов котлов (температура на поверхности обмуровки не должна превышать 55 °С) до 10 %.
- 10) Перевод котельных на газовое топливо в 2-3 раза снижается стоимость 1 Гкал.
- 11) Установка систем учета расходов топлива, электроэнергоэнергии, воды и отпуска тепла до 20 %.
- 12) Автоматизация управления работой котельной до 30 %.
- 13) Модернизация котлов типа ДКВР для работы в водогрейном режиме увеличение КПД до 94%.
- 14) Применение частотного привода для регулирования скорости вращения насосов, вентиляторов и дымососов.

#### 5.4 Энергосбережение в системах горячего водоснабжения

Общие технические меры по энергосбережению в системах отопления (О), горячего водоснабжения (ГВС), вентиляции (В) и кондиционирования (КВ) можно сформулировать следующим образом [13]:

- 1) Эффективная теплоизоляция трубопроводов, надежно и долговечно работающая при условиях эксплуатации.
- 2) Малое гидравлическое сопротивление трубопровода для транспортировки теплоносителя, что обеспечит малую мощность на прокачку теплоносителя.
- 3) Снижение тепловой нагрузки на системы О, В и КВ.
- 4) Выбор рационального вида систем О, В и КВ.
- 5) Осуществление экономичных режимов работы систем О, В и КВ.
- 6) Использование дополнительных источников энергии для систем О, В и КВ.  
Эффективная теплоизоляция трубопроводов.

Энергосбережение при транспортировке тепловой энергии в первую очередь зависит от качества тепловой изоляции. Она должна иметь не только низкую

						Лист
					13.03.01.2018.544.02.ПЗ	49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

теплопроводность, воздухо- и водопроницаемость, а так же низкую электропроводность, что уменьшает электрохимическую коррозию материала трубы. Наличие влаги в теплоизоляции снижает эффективность её работы, способствует разрушению труб. Поэтому сами трубы имеют антикоррозионное покрытие, например, в виде силикатных эмалей, и зола и др., а сверху тепловой изоляции укладывают специальные профилированные футляры (например, асбоцементные) или покрывают ее слоем обмазочной, либо оклеечной гидроизоляции. Такая гидроизоляция препятствует поступлению влаги из воздуха и грунта.

Малое гидравлическое сопротивление трубопровода.

Известно, что потери давления и мощность затрачиваемая на прокачку теплоносителя зависит прежде всего от скорости, и следовательно от диаметра трубопровода. Необходимо отметить, что увеличение диаметра хотя и уменьшает мощность на прокачку теплоносителя, но при этом увеличивается металлоемкость конструкции и энергозатраты на производство и монтаж трубопровода и т.д. Поэтому увеличивая диаметр и уменьшая мощность, затрачиваемую на прокачку теплоносителя, вместо ожидаемой экономии энергозатрат можно получить их увеличение. Обычно скорости движения теплоносителей при их транспортировке по трубам в различных отраслях техники зависят от условий работы и рабочих параметров.

Энергосбережение за счет уменьшения мощности, затрачиваемой на прокачку теплоносителя, можно получить при использовании вместо стальных труб пластиковых (например, полипропиленовых) для которых коэффициент гидравлического трения составляет в среднем 0,007, что существенно ниже, чем для стальных труб.

Снижение тепловой нагрузки на системы отопления, вентиляции и кондиционирования.

Архитектурно-планировочные меры. Форма здания влияет на величину теплопотерь. Наиболее выгодной является форма, при которой отношение площади наружной поверхности к объёму минимально. Такими являются здания в форме куба или шара.

Важной является высота здания. При сохранении объема здания увеличение его высоты в 4 раза (например, с 15 до 60 м.) приводит к двукратному увеличению годового расхода теплоты на отопление. На величину энергопотребления здания также влияет его ориентация (для зданий с вытянутыми фасадами). Ориентированные на южную половину горизонта фасады получают достаточно большие поступления солнечной радиации, которые особенно ощутимы в начале и в конце отопительного периода.

Теплозащита зданий. Задача выбора теплозащиты стен и перекрытий – технико-экономическая. Усиление теплозащиты стен достигается увеличением толщины теплоизоляционного слоя в её конструкции (для современных многослойных конструкций) или самой конструкции (для однослойных). При увеличении толщины стены возрастает её стоимость, но сокращается тепловая

нагрузка на систему отопления и стоимость потребления тепловой энергии.

Совмещение функций ограждений и систем. Наиболее простым способом снижения тепловой нагрузки на системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в жилых зданиях является остекление лоджий. Эффективным способом снижения тепловой нагрузки в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в промышленных и общественных зданиях служит удаление вытяжного воздуха через межстекольное пространство окон.

Осуществление экономичных режимов работы систем отопления, вентиляции и кондиционирования.

Дежурное отопление (снижение температуры воздуха в помещении в нерабочие часы. Пригодно только для производственных и общественных зданий. Для жилых помещений оно не применимо, так как люди в них могут находиться постоянно, а снижение температуры ниже +18 °С недопустимо).

Снижение расхода воздуха с учётом санитарных норм. (Использование периодической вентиляции.) Принцип действия периодической вентиляции основан на том, что при вентилировании помещения свежим воздухом концентрация вредности (например, углекислого газа в общественном помещении) убывает быстро (по экспоненциальному закону), а при бездействии вентиляции повышение концентрации вредности в воздухе помещения протекает медленнее (по линейному закону).

Использование дополнительных источников энергии для систем отопления, вентиляции и кондиционирования.

Применение тепловых насосов. Энергосбережение достигается за счет утилизации низкотемпературной сбросной или природной теплоты.

Утилизация теплоты сбросного воздуха.

Для утилизации теплоты выбросного воздуха используются утилизаторы различных видов, имеющих разную эффективность. Наиболее высокой эффективностью обладают регенеративные теплообменники с вращающейся насадкой. Энергосбережение достигается за счет передачи теплоты от вытяжного воздуха к приточному.

Использование теплоты солнечной радиации.

Прямое использование солнечной радиации сулит существенные выгоды. Солнечная радиация обладает экологической чистотой, доступностью. Однако прямое использование тепла солнца затруднено из-за относительной сложности поглощения и трансформации, а также из-за несовпадения во времени прихода и потребления энергии.

Применение инфракрасных излучателей.

Для обогрева постоянных и непостоянных рабочих мест в производственных и вспомогательных помещениях; помещений и площадок гражданского назначения; помещений и конструкций в процессе строительства зданий и сооружений; систем снеготаяния на открытых и полукрытых площадках, на кровлях зданий и сооружений возможно применение инфракрасных излучателей (газовых или

					13.03.01.2018.544.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

электрических). Энергосбережение достигается за счет уменьшения отапливаемого объема помещения, отсутствия перегрева верхней зоны помещения, малой тепловой инерции и гибкости управления.

Любое реформирование требует изменения мировоззрения, выработку нового мышления. Российский менталитет формировался в условиях огромной территории страны и обладания богатейшими ресурсами. Став частью мировой экономической системы, российская экономика сегодня просто вынуждена совершить технологический рывок, или она окончательно превратится в топливно-сырьевую периферию развитых стран. Энергосбережение – ключевое слово новой экономической политики страны [29].

В вопросах энергосбережения и повышения энергоэффективности важно организовать четкое взаимодействие с бизнес – сообществом, а также задействовать человеческий фактор, обеспечив информационную и образовательную поддержку мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности использования топливно-энергетических ресурсов на международном, федеральном, региональном и муниципальном уровнях.

В условиях сложившихся темпов развития научно-технического прогресса в мире если не провести настоящей реформы в энергетике страны, то в ближайшем будущем ТЭК окажется тормозом ее развития. Объемы производства топливно-энергетических ресурсов смогут обеспечить лишь внутренние потребности страны. В этом случае экспорт этих энергоресурсов из России должен быть практически прекращен с потерей внешних рынков, валютного дохода и источников финансирования отечественной промышленности

Энергосбережение играет ключевую роль в снижении энергоемкости национальной экономики и существенно влияет на темпы роста ВВП.

Необходимо усиление роли государства в плане реализации законов и федеральных программ по энергоэффективности и энергосбережению. Одна из главных задач — запуск механизмов стимулирования к энергосбережению.

Ключевое место в Энергетической стратегии России на период до 2030 года принадлежит проблеме энергоэффективности и управления спросом на энергию.

Сохранение высоких темпов экономического роста национальной экономики возможно только при условии повышения уровня энергосбережения в промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве, при производстве, транспортировке и распределении энергии.

Главной движущей силой в проведении энергосберегающей политики является государственный сектор, а ее экономической основой – самокупаемость затрат на выполнение энергоэффективных проектов, включенных в федеральные и региональные программы энергосбережения.

Реализация комплекса мер правового, административного и экономического характера, намеченных в Энергетической стратегии и стимулирующих энергосбережение, будет способствовать устойчивому развитию экономики России, обеспечивая тем самым ее энергетическую безопасность, представляющую собой неотъемлемую часть всей системы национальной и

экономической безопасности Российской Федерации. Российская Федерация располагает одним из самых больших в мире технических потенциалов повышения энергоэффективности, который составляет более 40% от уровня потребления энергии. Ресурс повышения энергоэффективности следует рассматривать как один из основных энергетических ресурсов будущего экономического роста.

					<i>13.03.01.2018.544.02.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		53

## 6 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

### 6.1 Вредные выбросы с уходящими газами котлов

Экологическая безопасность – состояние защищенности окружающей среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий [8].

К видам негативного воздействия на ОС относятся:

- выбросы в атмосферный воздух загрязняющих и иных веществ;
- сбросы загрязняющих веществ, микроорганизмов в поверхностные и подземные водные объекты, на водосборные площади;
- загрязнение недр, почв;
- размещение отходов производства и потребления;
- загрязнение окружающей среды шумом, теплом, электромагнитными, ионизирующими излучениями и другими видами физических воздействий;
- иные виды негативного воздействия на ОС.

Объектами окружающей среды от загрязнения, истощения, деградации, порчи, уничтожения и иного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности являются:

- земли, недра, почвы;
- поверхностные и подземные воды;
- леса и иная растительность, животные, другие организмы и их генетический фонд;
- атмосферный воздух, озоновый слой атмосферы и околоземное космическое пространство.

В соответствии с Федеральным законом от 10.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [19] требования в области охраны окружающей среды – требования, предъявляемые к хозяйственной и иной деятельности, обязательные условия, ограничения или их совокупность, установленные законами, иными нормативными правовыми актами, природоохранными нормативами, государственными стандартами и иными нормативными документами в области охраны окружающей среды.

Охрана ОС (ООС) – деятельность органов государственной власти РФ, органов государственной власти субъектов РФ, органов местного самоуправления, общественных и иных некоммерческих объединений, юридических и физических лиц, направленная на сохранение и восстановление природной среды, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, предотвращение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на ОС и ликвидацию ее последствий.

Таким образом, для управленческого персонала термин «экологическая безопасность» должен пониматься как многоплановая проблема, включающая не только предотвращение непосредственного вреда природной среде, но и многие

										Лист
										54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.544.02.ПЗ					

другие аспекты, связанные прямо или косвенно с негативными воздействиями па ОС, включая и такие как, например, социальные последствия экологических нарушений, необходимость выпуска экологически безопасной продукции, обеспечение промышленной и экологической безопасности, охрану труда, ликвидацию промышленных отходов, оптимизацию технологических процессов, обеспечение высокой культуры эксплуатации, сокращение дополнительного экологического риска, связанного с физическим и моральным износом оборудования, обеспечение высокого уровня подготовки персонала и осуществление систематической экологической переподготовки и аттестации.

Загрязнение атмосферного воздуха – поступление в атмосферный воздух или образование в нем вредных (загрязняющих) веществ в концентрациях, превышающих установленные государством гигиенические и экологические нормативы качества атмосферного воздуха.

Выбросом загрязняющих веществ называется интенсивность поступления загрязняющих веществ в атмосферу в единицу времени.

Тепловые электростанции и котельные оказывают существенное влияние на окружающую среду в районе их расположения и на общее состояние биосферы.

Работа котельных связана с выбросами в атмосферу дымовых газов и тепловыми выбросами.

Большинство из загрязняющих веществ являются токсичными и оказывают вредное воздействие на окружающую среду.

С продуктами сгорания топлива в атмосферу выбрасываются различные вредные вещества в том числе и высокотоксичные. Токсичными называются химические соединения, отрицательно влияющие на здоровье человека и животных.

Вид топлива влияет на состав образующихся при его сжигании вредных веществ. Основными вредными веществами, содержащимися в дымовых газах котлов, являются: оксиды (окислы) серы ( $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$ ), оксиды азота ( $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ ), оксид углерода ( $\text{CO}$ ), соединения ванадия.

В качестве жидкого топлива применяют мазут, сланцевое масло, дизельное и котельной топливо. Дизельное топливо содержит сернистые соединения. Общее их количество зависит от нефти, из которой вырабатывается топливо и степени очистки.

Газообразное топливо представляет собой наиболее «чистое» органическое топливо, так как при его полном сгорании из токсичных веществ образуются только оксиды азота.

При недостаточном количестве кислорода. Подаваемого в зону горения, в дымовых газах образуется полициклический углеводород бенз(а)пирен  $\text{C}_{20}\text{H}_{16}$ , обладающий канцерогенными свойствами. При неполном сгорании жидкого топлива в дымовых газах образуются крупнодисперсные, липучие частицы сажи, состоящие преимущественно из углерода.

Вредные выбросы – оксиды серы и азота и другие вещества, воздействуя на биосферу в районе расположения котельной, подвергаются различным

превращениям и взаимодействиям и затем осаждаются или вымываются атмосферными осадками.

Высокое содержание в атмосферном воздухе различных загрязнителей неблагоприятно сказывается на всем комплексе живой природы. Отрицательное влияние выражается в ухудшении здоровья людей и животных. Загрязнение атмосферы влияет на коррозионные процессы строительных конструкций, ускорение износа зданий и оборудования.

Существует два вида воздействия выбросов: локальное и общее (глобальное). Локальное воздействие распространяется на прилегающий район диаметром до 20-50 км. Глобальное воздействие распространяется на биосферу с учетом выбросов других предприятий.

Неблагоприятное воздействие на окружающую среду оказывают оксиды азота и серы: разрушается хлорофилл растений, повреждаются листья и хвоя. Пораженные участки приобретают бронзовую окраску. Нарушение фотосинтеза начинается с концентрации  $SO_2$ , составляющей  $0,23 \text{ мг/м}^3$ . При дальнейшем увеличении концентрации до  $0,25-0,5 \text{ мг/м}^3$  наблюдается ухудшение состояния больных с легочными заболеваниями.

Оксиды азота снижают прозрачность атмосферы и способствуют образованию фотохимического тумана – смога.

Бенз(а)пирен вызывает злокачественные заболевания. Оксид углерода изменяет состав крови, приводит к нарушению нервной деятельности.

Рассеивание выбросов при помощи дымовых труб является основным способом защиты атмосферы от чрезмерного ее загрязнения. При истечении в атмосферу дымовые газы состоят из продуктов реакции горения топлива. Происходит изменение их состава. Образуются новые соединения. Отходящие газы от любых промышленных источников подлежат рассеиванию в атмосфере, даже если они не содержат токсичных веществ. Рассеивание (диффузия) токсогенов, выделяемых различными источниками, происходит под влиянием турбулентности, свойственной приземному слою атмосферы. Различные слои воздуха интенсивно перемешиваются во всех направлениях. Это приводит к разбавлению загрязненных слоев и к падению концентрации токсогенов в них. Турбулентность атмосферы может иметь механическое и термическое происхождение. В первом случае она возникает главным образом в результате трения ветрового потока о поверхность почвы. С увеличением шероховатости поверхности интенсивность турбулентности возрастает, так как возрастает размер вихрей, распространяющихся до больших высот. Другим источником турбулентности в атмосфере является неравномерное распределение температуры (тепловое расслоение приземного слоя воздуха). Турбулентность ветра играет большую роль в процессе атмосферного теплообмена, благодаря которому происходит рассеивание газовых и пылевых облаков в атмосфере.

Основным нормативом качества воздуха в нашей стране является предельно допустимая концентрация (ПДК). Это максимальная концентрация загрязняющего вещества в атмосфере, которая при периодическом воздействии

					13.03.01.2018.544.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56





- д) снижение избытка воздуха в топке;
- е) предварительный подогрев топлив до 700 °С;
- ж) химическая очистка газов: окислительная, восстановительная, сорбционная.

Проблема выбросов при сжигании топлив решается поэтапно на разных стадиях технологического процесса. В котельных, начиная со стадии подготовки топлива к сжиганию, далее на стадии сжигания топлива и, наконец, в процессе охлаждения продуктов горения топлива. Так, на стадии подготовки топлива к сжиганию возможно получение «чистого» топлива, высокотемпературный подогрев мазута. Получение «чистого» топлива (путем дисульфурации) достигается за счет удаления содержащейся в нем среды. Процесс газификации твердого или жидкого топлива заключается в неполном окислении органической части топлива разными газообразными окислителями при высоких (900...1300 °С) температурах с образованием генераторного газа, содержащего в основном CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>. Побочными продуктами газификации является зола, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, смолы, которые должны быть отделены, после чего генераторный газ может рассматриваться как «чистое» энергетическое топливо.

Использование отчищенного генераторного газа позволяет снизить выбросы NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> до 10 раз.

Экспериментальными исследованиями установлено, что выход оксидов азота NO зависит от температуры подогрева мазута. При повышении температуры от 130 до 170 °С выход NO<sub>x</sub> увеличивается примерно на 20%, дальнейшее повышение температуры до 250 °С приводит к уменьшению выхода NO<sub>x</sub> на 40...50%.

Методы подавления образования оксидов азота. Основными путями снижения выбросов NO<sub>x</sub> на стадии сжигания топлива, приводящими к подавлению их образования, является двухступенчатое сжигание топлива; рециркуляция продуктов горения; впрыск воды или ввод пара в факел; применение специальных горелочных устройств; выбор оптимального избытка воздуха.

При двухступенчатом сжигании в первичную зону горения воздух подается при расходе, меньшем теоретически необходимого для сжигания топлива ( $\alpha = 0,80 \dots 0,95$ ). В результате происходит неполное сгорание топлива с частичной его газификацией при пониженной температуре и, следовательно, сниженном содержании оксидов азота. Во вторичную зону подается чистый воздух или обедненная топливом смесь для дожигания продуктов неполного сгорания. Этот метод позволяет снизить содержание NO<sub>x</sub> 25...35%.

Для организации рециркуляции продукты горения обычно после водяного экономайзера в количестве до 20% при температуре 300...400 °С отбирают специальным рециркуляционным дымососом и подают в топочную камеру. Наиболее эффективна рециркуляция газов с топливом (приблизительно в 1,8 раза больше, чем с воздухом). При рециркуляции 20% продуктов горения с топливом достигаемое снижение выбросов NO<sub>x</sub> составляет около 90%. При впрыске воды (расход воды 0,35 кг/м<sup>3</sup> топлива) или вводе пара (3...3,5% массы воздуха) в факел

достигается снижение выбросов  $\text{NO}_x$  в 2 раза. Помимо этого в продуктах горения снижается содержание бенз(а)приена. Эффекты при введении водяных паров сводятся к снижению максимума температуры горения и к их ингибирующим (замедляющему) воздействию на реакции образования  $\text{NO}_x$ .

Применение специальных плоскопламенных горелочных устройств с внутренней рециркуляцией газов, имеющих температуру 800...1200 °С, к фронту воспламенения позволяет на 40...50% снизить выбросы оксидов азота.

Существенное влияние на выход  $\text{NO}_x$  оказывает величина коэффициента избытка воздуха. Изменение режимных параметров работы горелок достигают существенного снижения выброса оксидов азота. Так, например, при температуре в зоне горения 1600...1700 °С максимальное содержание оксидов азота имеет место при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha=1,2$ , и при уменьшении его до 1,02 удается снизить содержание оксидов азота в 2 раза.

Общий контроль (наблюдение, оценка, прогноз, элементы регулирования) состояния природной среды в РФ осуществляется главным образом различными геофизическими службами. К таким службам относятся: метеорологическая, гидрологическая, служба наблюдения за состоянием морей и океанов, агрометеорологическая, служба наблюдения и контроля за радиационной обстановкой, служба наблюдения и контроля за уровнем загрязнения природных сред, а также служба космического наблюдения за возобновляемыми природными ресурсами. Такие службы собирают информацию о естественном состоянии природной среды, изменении этого состояния. Прогнозируют изменения состояния в будущем и представляют информацию всем заинтересованным организациям для обязательного использования в интересах здоровья и благосостояния человека, в интересах сохранения природы и развития народного хозяйства страны.

## 6.2 Расчет и выбор дымовой трубы

Высота труб должна обеспечивать такое рассеивание окислов серы, окислов азота и других вредных примесей, при котором концентрации их у поверхности земли будет меньше допустимой.

Расчет дымовых труб ведется по расходу топлива при максимальной электрической и тепловой нагрузке при средней температуре наиболее холодного месяца [7].

Высота дымовой трубы рассчитывается по формуле (6.1) :

$$H_{тр} = P_n \cdot \sqrt{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \left( \frac{M_{\text{NO}_2}}{\text{ПДК}_{\text{NO}_2}} \right) \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{V_{сек} \cdot \Delta T}}}, \quad (6.1)$$

где  $P_n = 1$  - коэффициент, зависящий от числа стволов в трубе, для одноствольной трубы;

										Лист
										59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2018.544.02.ПЗ

$A=160$  - коэффициент, зависящий от температурной стратификации слоистого строения атмосферы, котельная находится в г. Челябинск;

$F=1$  - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние скорости осаждения примеси в атмосфере  $\text{NO}_2$ ;

$m=1$  и  $n=1$  - коэффициенты, учитывающие условие выхода газов из устья трубы;

$M_{\text{NO}_2}$  - выброс окислов азота, г/с;

$\text{ПДК}_{\text{NO}_2} = 0,085 \text{ мг/м}^3$  - предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе;

$N=1$  - число труб;

$V_{\text{сек}}$  - секундный расход удаляемых газов,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\Delta T$  - разность температур выбрасываемых газов и атмосферного воздуха, определяется по формуле (6.3).

Выброс  $M_{\text{NO}_2}$  окислов азота, рассчитывается по  $\text{NO}_2$ , по формуле (6.2):

$$M_{\text{NO}_2} = 0,034 \cdot B \cdot Q_n^p \cdot K_{\text{NO}_2} \cdot (1 - \beta), \quad (6.2)$$

где  $B = 0,03 \text{ м}^3/\text{с}$  - расход топлива, г/с;

$Q_n^p = 36,17 \text{ МДж/м}^3$  - низшая теплота сгорания топлива;

$K_{\text{NO}_2} = 0,06 \text{ кг/МДж}$  - параметр, характеризующий количество окислов азота, образующихся на МДж теплоты, определяется по графику [7, рис.1.1] для различных видов топлива в зависимости от номинальной нагрузки котлов;

$\beta = 0$  - коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов окислов азота в результате применяемых технических решений.

$$M_{\text{NO}_2} = 0,034 \cdot 0,03 \cdot 36,17 \cdot 0,06 \cdot (1 - 0) = 0,0022 \text{ кг/с} = 2,2 \text{ г/с}$$

$$\Delta T = (273 + 120) - (273 + t_{\text{окр.в}}), \quad (6.3)$$

где  $t_{\text{окр.в.}} = -15,5 \text{ }^\circ\text{C}$  (принимаем), средняя зимняя температура окружающего воздуха на Урале.

$$\Delta T = (273 + 120) - (273 - 15,5) = 135,5 \text{ К}$$

Секундный расход удаляемых газов находится по формуле (6.4):

$$V_{\text{сек}} = B \cdot V_{\Sigma}, \quad (6.4)$$

$$V_{\text{сек}} = 0,03 \cdot 12,78 = 0,4 \text{ м}^3/\text{с}$$

									Лист
									60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.544.02.ПЗ				

Диаметр устья трубы определяется по формуле (6.5):

$$d_0 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V_{сек}}{\omega} \cdot \frac{1}{N}}, \quad (6.5)$$

Зададимся скоростью выхода газов из устья трубы:  $\omega = 17$  м/с.

Определяем (предварительно) диаметр устья трубы:

$$d_0 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,4}{17} \cdot \frac{1}{1}} = 0,17 \text{ м}$$

Округляем диаметр трубы до ближайшего стандартного:  $d_0 = 0,4$  м

Вычисляем реальную скорость газов по формуле (6.6):

$$\omega = \frac{4 \cdot V_{сек}}{N \cdot \pi \cdot d_0^2}, \quad (6.6)$$

$$\omega = \frac{4 \cdot 0,4}{1 \cdot 3,14 \cdot 1,2^2} = 0,35 \text{ м/с}$$

Высота дымовой трубы:

$$H_{mp} = 1 \cdot \sqrt{160 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1,5}{0,085}\right)} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{0,4 \cdot 135,5}} = 27,3 \text{ м}$$

Принимается к установке стандартная стальная труба:

высотой  $H_{mp} = 30$  м

диаметром устья  $d_0 = 0,4$  м

количество  $N = 1$

					<i>13.03.01.2018.544.02.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61





в) понижения температуры и давления жидкого топлива в общем трубопроводе к котлам;

г) повышения или понижения давления газа;

д) понижения давления воды в каждой питательной магистрали (при постоянно работающих питательных насосах);

е) понижения или повышения давления воды в обратном трубопроводе тепловой сети;

ж) повышения или понижения уровня воды в баках (деаэрационных, аккумуляторных систем горячего водоснабжения, конденсатных, питательной, осветленной, декарбонизированной воды и т.п.), а также понижения уровня промывочной воды в баках;

и) повышения или понижения уровня жидкого топлива в резервуарах;

к) повышения температуры жидких присадок в резервуарах хранения;

Для контроля параметров, наблюдение за которыми необходимо при эксплуатации котельной, следует предусматривать показывающие приборы; для контроля параметров, изменение которых может привести к аварийному состоянию оборудования, – сигнализирующие показывающие приборы, а для контроля параметров, учет которых необходим для анализа работы оборудования или хозяйственных расчетов, – регистрирующие или суммирующие приборы [21].

Для водогрейных котлов с температурой воды более 115°C следует предусматривать показывающие приборы для измерения:

а) температуры воды на входе в котел после запорной арматуры (показывающий и регистрирующий только при требовании завода–изготовителя котла о поддержании постоянной температуры воды);

б) температуры воды на выходе из котла до запорной арматуры (показывающий и регистрирующий только при требовании завода–изготовителя котла о поддержании постоянной температуры воды);

в) температуры воздуха до и после воздухоподогревателя;

г) температуры уходящих газов (показывающий и регистрирующий);

д) давления воды на входе в котел после запорной арматуры и на выходе из котла до запорной арматуры;

е) давления воздуха после дутьевого вентилятора и каждого регулирующего органа для котлов, имеющих зонное дутье, перед горелками за регулирующими органами и пневмозабрасывателем;

ж) давления жидкого и газообразного топлива перед горелками после регулирующего органа;

н) разрежения в топке;

к) разрежения перед дымососом;

л) расхода воды через котел (показывающий и регистрирующий);

м) содержания кислорода в уходящих газах (для котлов производительностью до 20 Гкал/ч – переносный газоанализатор, для котлов большей производительности – автоматические показывающие и регистрирующие газоанализаторы).

										Лист
										64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.544.02.ПЗ					



В проекте котельной следует предусматривать показывающие приборы для измерения:

- а) температуры прямой и обратной сетевой воды;
- б) давления в подающих и обратных трубопроводах тепловых сетей (до и после грязевиков);
- в) давления воды в питательных магистралях;
- г) давления жидкого и газообразного топлива в магистралях перед котлами.

В проекте котельной следует предусматривать регистрирующие приборы для измерения:

- а) температуры воды в подающих трубопроводах систем теплоснабжения и горячего водоснабжения и в каждом обратном трубопроводе;
- б) давления воды в каждом обратном трубопроводе системы теплоснабжения;
- в) давления и температуры газа в общем газопроводе котельной;
- г) расхода воды в каждом падающем и обратном трубопроводе систем теплоснабжения и горячего водоснабжения (суммирующий);
- д) расхода воды, поступающей на подпитку тепловой сети, при ее количестве 2 т/ч и более (суммирующий);
- е) расхода газа в общем газопроводе котельной (суммирующий).

## 7.2 Контрольно измерительные приборы и автоматика безопасности котла RS-D 1000

В заводской комплект поставки, кроме котла, входят:

- паспорт котла;
- электроконтактный манометр;
- датчики температуры;
- горелка;
- предохранительные клапаны;
- датчик потока воды;
- пульт управления котла.

Пульт управления расположен на боковой стенке котла, в котором установлены следующие приборы [28]:

- электронный регулятор температуры 1 степени горения;
- электронный регулятор температуры 2 степени горения;
- электронный регулятор температуры защитного отключения;
- световые индикаторы аварийных ситуаций;
- кнопка проверки световых индикаторов;
- промежуточные реле;
- автоматический выключатель электропитания.

Непосредственно на самом котле установлены следующие приборы:  
на выходном патрубке котла:

- электроконтактный манометр;
- два датчика температуры 1 и 2 степени горения;

					13.03.01.2018.544.02.ПЗ	Лист
						65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- датчик температуры защитного отключения;
- датчик потока воды.

на входном патрубке:

- два предохранительных клапана пружинного типа (для котлов, мощностью до 300 кВт включительно – устанавливается один клапан).

### 7.3 Пульт управления ROSSMATIC 300

Пульт управления ROSSMATIC 300 применяется для управления работой котла оснащенного горелкой с модулирующей системой регулирования. Управление горелкой происходит в установленном диапазоне переключений (гистерезис) в зависимости от отклонения между установленной и фактической температурой подающей линии котла.

Работа нагревателя показана на рисунке 7.1.

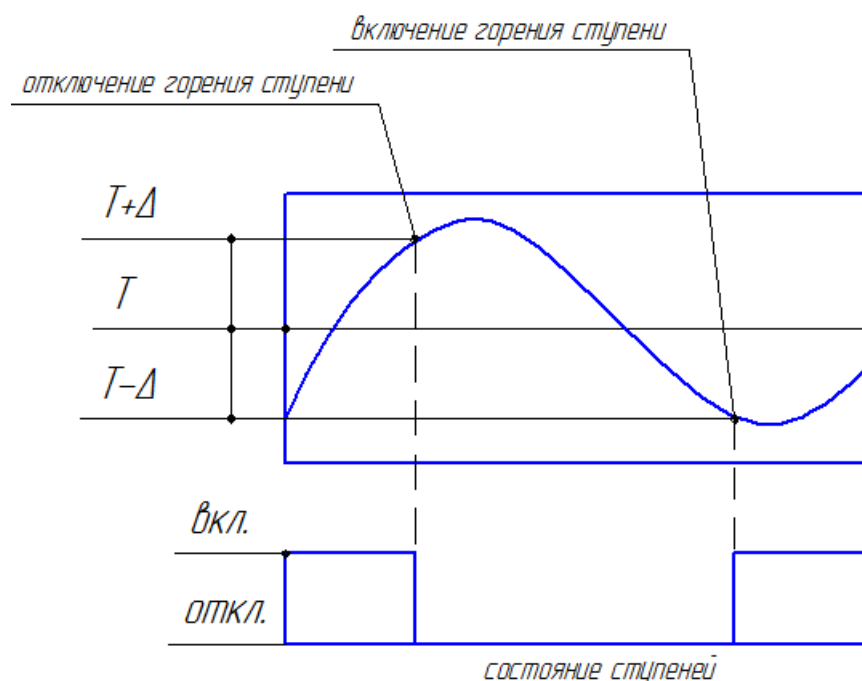


Рисунок 7.1 – Логика работы нагревателя:

T - уставка для ступени большого или малого горения; Δ – гистерезис

Если температура теплоносителя в котле меньше уставки «T-Δ» ступень горелки включается.

Если температура теплоносителя в котле превышает значение уставки «T+Δ» ступень выключается.

Контролируемые пультом управления параметры [28]:

- давление теплоносителя (нижний предел);
- электроконтактный манометр;
- давление теплоносителя (верхний предел);

- электроконтактный манометр;
- температура теплоносителя предельная, регулятор ТРМ1;
- температура теплоносителя заданная регулируется пультом горелки;
- блокировка горелки.

Принцип работы пульта управления:

При включении вводного автомата - питание подается на горелку, горелка переходит в режим «Ожидание». Если клеммы 3-4 на горелке замкнуты, она переходит в режим «Пуск» и разжигается по заданной программе. Между клеммами 3-4 последовательно включены контакты всех датчиков (давление, поток, температура) эта цепь называется «разрешающей». При выходе любого из контролируемых параметров за заданные пределы – «разрешающая» цепь размыкается, горелка прекращает работу и переходит в режим «Ожидание». На пульте управления загорается световой индикатор, указывающий причину аварии.

При возвращении контролируемых параметров в норму – индикатор гаснет и горелка разжигается автоматически. Кроме этого, на пульт управления вынесен световой индикатор «Горелка», который сигнализирует о блокировке горелки. На пульте предусмотрена кнопка «Тест» для проверки исправности световых индикаторов.

Пульт оснащен следующим регулятором:

- регулятор ТРМ-1 (позиция 7, рисунок 7.2) – «регулятор перегрева» контролирует предельную температуру. При достижении температуры воды в котле  $+115^{\circ}\text{C}$ , он размыкает разрешающую цепь горелки, на пульте управления загорается световой индикатор «ТЕМПЕРАТУРА». При снижении температуры воды до  $+105^{\circ}\text{C}$ , регулятор дает разрешение на пуск горелки, световой индикатор, при этом гаснет.

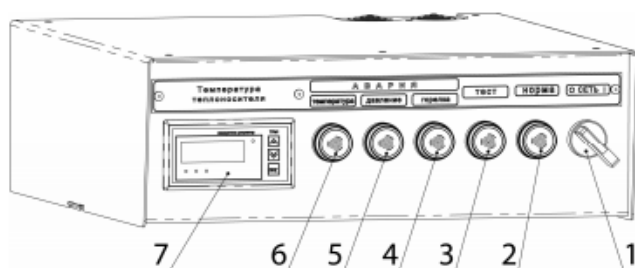


Рисунок 7.2 – Пульт управления Rossmatic 300:

1 – сетевой переключатель; 2 – индикатор «НОРМА» разрешение розжига горелки; 3 – кнопка «ТЕСТ» для проверки исправности световых индикаторов; 4 – индикатор «ГОРЕЛКА» сигнализирует о сигнале «БЛОКИРОВКА ГОРЕЛКИ»; 5 – индикатор «ДАВЛЕНИЕ», сигнал выхода давления теплоносителя за установленные пределы; 6 – индикатор «ТЕМПЕРАТУРА» сигнал выхода температуры теплоносителя за установленные пределы; 7 – измеритель-регулятор ТРМ1 (регулятор «перегрева»)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.01.2018.544.02.ПЗ

Лист

67

Лицевая панель регулятора ТРМ1 изображена на рисунке 7.3.

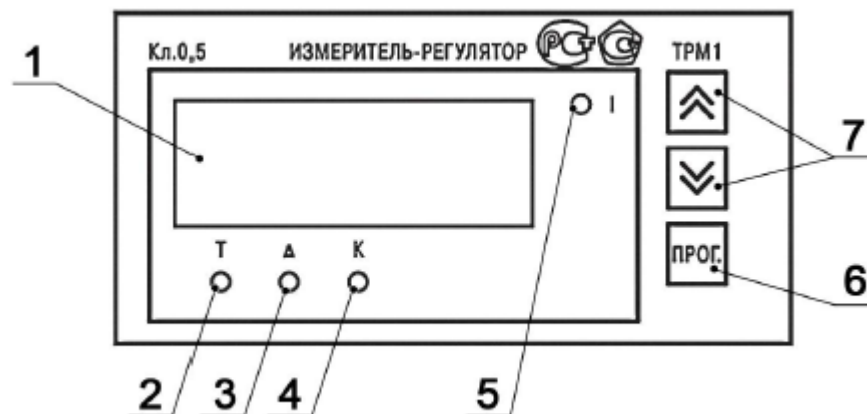



Рисунок 7.3 – Лицевая панель регулятора ТРМ 1:

1 – цифровой индикатор отображает значение температуры теплоносителя в котле и функциональных параметров прибора; 2 – «Т» - индикатор задания уставки; 3 – «Δ» - индикатор задания гистерезиса; 4 – «К» индикатор сигнализирующий о включении/отключении устройства; 5 – светодиод «I» сигнализируют о выводе на индикацию соответствующего канала измерения температуры теплоносителя в котле (непрерывная засветка) и об аварии по

входу (мигающая засветка); 6 – кнопка  предназначена для входа в режим просмотра и установки рабочих параметров, а также для записи новых

установленных значений; 7 – кнопки   предназначены для выбора и уменьшения значения параметра

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 8.1 Правила устройства и безопасной эксплуатации

Правила устройства и безопасной эксплуатации котлов распространяются на оборудование с давлением не выше  $0,7 \text{ кгс/см}^2$  при температуре воды до  $115 \text{ }^\circ\text{C}$  [13].

При неправильной эксплуатации оборудования, работающего под давлением, возможны взрывы большой разрушительной силы.

К обслуживанию установок, работающих под давлением, допускаются лица, достигшие 18 лет и имеющие соответствующее квалификационное удостоверение.

Котельные помещения строят из негорючих материалов, без чердачных перекрытий. Фронт всех котлов должен быть расположен по прямой линии и обращен к окнам котельной. Расстояние от фронта котла до противоположной стены должно быть не менее 3 м, ширина проходов между котлами, а также между котлом и стенами здания – не менее 1 м [15].

В котельных с площадью пола до  $200 \text{ м}^2$  разрешается устраивать один выход, а при большей площади должно быть два выхода.

Котельные должны иметь достаточное естественное и искусственное освещение. Для электрических ламп, находящихся на высоте до 2,5 м, напряжение в осветительной сети не должно превышать 36 В.

Запрещается хранение в котельной легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. Все проходы в котельном помещении и все выходы наружу должны быть свободными.

В помещении котельной необходимо иметь при работе на твердом топливе на каждые две топки один огнетушитель ОП-1 и при мазутных топках – один огнетушитель ОП-3 и ящик с сухим песком емкостью  $0,5 \text{ м}^3$  (с двумя железными лопатками).

В котельной должен быть телефон или сигнальное устройство для экстренного вызова администрации.

Техническое освидетельствование котлов проводит компетентная комиссия, создаваемая администрацией предприятия. При эксплуатации котельных установок основными причинами неполадок и аварий котла могут быть недостатки монтажа, неудовлетворительный ремонт, плохой уход за котлом и его арматурой, превышение рабочего давления, понижение расхода воды ниже допустимых пределов.

Для обеспечения безопасных условий эксплуатации котлы (сосуды) должны быть оборудованы приборами для измерения давления и температуры, предохранительными устройствами, запорной арматурой и указателями уровня жидкости.

При возникновении аварийной ситуации оператору необходимо остановить котел и сообщить об этом лицу, ответственному по котельной.

									Лист
									69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

13.03.01.2018.544.02.ПЗ

В случае пожара в котельной необходимо немедленно вызвать пожарную команду и одновременно принять меры к его тушению. После устранения аварии или пожара производят запись в вахтенном журнале.

## 8.2 Основные способы обеспечения безопасной эксплуатации котельных установок

С целью безопасной эксплуатации котельных установок применяется следующая арматура безопасности [25]:

- манометры, для контроля давления среды (воды, газа и др.);
- предохранительные устройства для сброса избыточного давления рабочей среды (предохранительные клапаны);
- водозапорные вентили (задвижки) для впуска воды в КУ и регулирование её количества;
- обратный питательный клапан, предотвращающий пропуск воды из котельной установки обратно в питательную магистраль при аварии на питательном трубопроводе;
- воздушные клапаны для удаления из котельной установки воздуха.

Вся арматура должна иметь сертификаты (паспорта), где отражаются параметры эксплуатации, схемы включения в технологическую систему и другие сведения.

Соединения трубопроводов котельных установок выполняются фланцевыми или сварными.

Котельные установки оборудуются также необходимой гарнитурой безопасности:

- заслонками и шиберами для регулирования тяги и дутья;
- лазами в обмуровке для осмотра топочной камеры, газоходов и других поверхностей нагрева и футеровки;
- предохранительными взрывными клапанами для защиты обмуровки и каркаса котельной установки от разрушений при взрывах горючей смеси в топке и газоходах;

Приводы арматуры, отключающие механизмы, должны быть заперты на замок при помощи цепей или других устройств и приспособлений, исключающих их ошибочное включение. На Отключенных приводах должны быть вывешены запрещающие плакаты, а на месте производства работ плакат «Работать здесь». Подготовка к ремонту вращающихся механизмов (насосы, вентиляторы, дымососы, мельницы и т.д.) должна производиться согласно условиям выполнения работы, указанным в наряде. При этом механизм должен быть остановлен, его запорная арматура ( задвижки, шиберы, заслонки, вентили и т.д.) должна быть установлена в положение, обеспечивающее безопасность выполнения работы, а также произведено отключение электродвигателя и других электрических цепей контроля и автоматики. При производстве ремонтных работ на электродвигателе или механизме, приводимом в движение электродвигателем,

последний должен быть остановлен, а напряжение с него снято. Кабель питания электродвигателя должен быть заземлен в ячейке распределительного устройства или непосредственно у электродвигателя. В журнале должна быть сделана запись о том, для каких работ, какого цеха и по чьему распоряжению остановлен электродвигатель.

Четкое выполнение перечисленных мероприятий обеспечивает безопасное выполнение ремонтных работ котельного оборудования.

В целях предупреждения взрывов автоматически контролируется температура дымовых газов, воды, причём системы контроля блокируются с питательными системами (по топливу), которые отключаются при превышении критических значений температур.

Для обеспечения безопасности процесса розжига котельной установки предусматриваются автоматические системы контроля и регулирования подачи горючего на запальник и в топку.

Особое значение для безопасной эксплуатации котельной установки являются, умягчение питательной воды с целью предупреждения образования накипи на нагретых поверхностях. При умягчении (обессоливании) воды из неё удаляют соли жесткости ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ;  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ;  $\text{CaSO}_4$ ;  $\text{MgSO}_4$ ;  $\text{MgCl}_2$ ), обеспечивающие карбонатную и некарбонатную жёсткость воды.

Умягчение питательной воды производится при помощи ионообменных смол (катионитов и анионитов), а также реагентными методами (обработкой кислотами с выпадением солей жёсткости в осадок).

### 8.3 Мероприятия по технике безопасности

Мероприятия по технике безопасности основаны на законах об охране труда, государственной системе стандартов безопасности труда, отраслевых стандартов и нормативных документов по охране труда [25].

Персонал, работающий на объектах теплоэнергетических установок должен соблюдать ряд правил:

- эксплуатация котлов, водяных экономайзеров с неисправными или неотрегулированными предохранительными клапанами запрещается;
- вблизи растапливаемого котла должны быть прекращены все работы;
- при обрыве газового или дизельного факела запрещается розжиг котел без предварительной вентиляции топки и газоходов;
- персонал, не имеющий отношения к растопке и работе в котельном цехе, должен быть удален;
- при пуске и остановке, а так же во время работы котлов запрещается нахождение лиц на площадках вблизи люков, лазов, а также возле фланцевых соединений и арматуры, за исключением эксплуатационного персонала;
- все горячие поверхности котлов и трубопроводов должны быть изолированы;
- в котельной должны быть составлены схемы и инструкции по эксплуатации газопроводов и агрегатов;

					<i>13.03.01.2018.544.02.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>71</i>

- персонал, обслуживающий газопроводы, не должен допускать образования в газопроводах взрывоопасной газозелудушной смеси;
- эксплуатация газопровода при наличие утечки газа не допускается;
- концентрация газа в помещении не должна быть больше 1/5 нижнего концентрационного предела его взрываемости и не выше допустимой по санитарным нормам;
- в помещениях, где имеются газопроводы, необходимо проверять загазованность газоанализаторами;
- при взрыве или нарушении газопровода, необходимо отключить поврежденный участок, остановить работающие котлы и немедленно открыть окна, двери, провентилировать помещение;
- запрещается нагрузка газопроводов тяжестями, использование их в качестве опорных конструкций, а также запрещается использование газопроводов в качестве заземления.

Все работы по технике безопасности должны быть направлены на создание системы организационных мероприятий и технических средств, предназначенных для предотвращения воздействия на работающих, опасных производственных факторов.

Средства защиты, приспособления и инструмент, применяемые при обслуживании оборудования, зданий и сооружений тепловых энергоустановок, должны своевременно подвергаться осмотру и испытаниям в соответствии с действующими актами по охране труда.

На предприятиях должны быть разработаны и утверждены инструкции по охране труда, как для работников отдельных профессий (электросварщиков, слесарей, операторов, электромонтеров), так и на отдельные виды работ (работы на высоте, монтажные, наладочные, ремонтные).

Каждый работник должен знать и строго выполнять требования безопасности труда, относящиеся к обслуживаемому оборудованию и организации труда на рабочем месте.

Общее руководство работой по технике безопасности и персональная ответственность за нее возлагается на первого руководителя (работодателя) тепловой энергоустановки.

Руководители и должностные лица энергообъектов обязаны обеспечивать безопасные и здоровые условия труда на рабочих местах, в производственных помещениях и на территории энергообъектов, контролировать их соответствие действующим требованиям безопасности производственной санитарии, а также своевременно организовывать обучение, проверку знаний, инструктаж персонала, контроль за соблюдением им требований охраны труда.

При невозможности устранить воздействие на персонал вредных и опасных факторов руководящие и должностные лица обязаны обеспечить персонал, средствами индивидуальной защиты.

Весь персонал энергообъектов должен быть практически обучен помощи оказания первой медицинской помощи, а также приемам оказания первой помощи

					<i>13.03.01.2018.544.02.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		72



пострадавшим непосредственно на месте происшествия. Проверка знаний, инструкций должна проводиться при периодической проверке знаний ПТБ.

Ежегодно с применением современных тренажеров должно проводиться обучение персонала способам реанимации для поддержания навыков по оказанию первой медицинской помощи.

В котельном зале должны быть аптечки или сумки первой помощи с постоянным запасом медикаментов и медицинских средств.

Персонал должен быть обеспечен спецодеждой, спецобувью и другими средствами индивидуальной защиты в зависимости от характера выполняемых работ и обязан ими пользоваться во время работы.

В случае неиспользования по назначению средств защиты, выданных для выполнения определенной работы, персонал несет ответственность.

#### 8.4 Мероприятия по пожаровзрывобезопасности

Помещение котельной по пожарной безопасности относится к категории «Г», по огнестойкости строительных конструкций «И» [13].

Здания и сооружения выполняются из несгораемых материалов. Несущие стены, колонны и стены лестничных клеток должны иметь предел огнестойкости 2-3 часа, а междуэтажные и чердачные покрытия 1-1,5 часа. Для предупреждения взрывов и пожаров необходимо применять такое оборудование и приборы, которые бы исключали возможность воспламенения:

- в пожароопасных помещениях и хранилищах горючих веществ не должно быть нагревательных приборов с температурой стенки более 110 °С;
- при планировке необходимо предусматривать разрывы между производственными зданиями, складами и вспомогательными сооружениями;
- каждое пожароопасное помещение должно быть оснащено устройством противопожарного назначения (преграды, водяной завес и другое);
- для ликвидации пожаров необходимо предусматривать системы автоматического пожаротушения и сигнальные устройства;
- необходимо строго соблюдать правила хранения и обращения с горючими и смазочными материалами.

Для тушения пожара на предприятиях сооружают сеть водопровода из запасных резервуаров, насосной станции, трасс трубопроводов, расположенных на расстоянии 5 метров от здания и между зданиями. В каждом производственном помещении сооружается внутренний пожарный водопровод с пожарными каналами.

В помещениях, где хранятся горючие материалы, сооружают дренчерные установки (дренчерные установки применяют в помещениях высокой пожарной безопасности). Так же ручными средствами пожаротушения являются пенные огнетушители ОП-5, ОХП-10 и другие, а так же углекислотные огнетушители ОУ-5, ОУ-8 и другие, предназначенные для тушения пожара, возникшего на электроустановках.

					<i>13.03.01.2018.544.02.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		73

Устройство и эксплуатация оборудования зданий и сооружений должны соответствовать требованиям ППБ.

Энергообъекты должны быть оборудованы сетями противопожарного водоснабжения, установками обнаружения и тушения пожара в соответствии с требованиями нормативно-технических документах.

Каждый работник должен точно знать, выполнять ППБ и установленный на энергообъекте противопожарный режим; не допускать лично и останавливать действия других лиц, которые могут привести к пожару или загоранию.

Работники энергообъектов должны производить противопожарный инструктаж, совершенствовать знания по пожарной безопасности при повышении квалификации, при регулярном участии в противопожарных тренировках и проходить периодическую проверку знаний ППБ в соответствии с требованиями действующих документов.

Периодичность, тематика и объемы противопожарных тренировок должны определяться с учетом того, что персонал должен приобрести практические навыки тушения пожаров во взаимодействии с пожарными подразделениями, не прекращая управлять оборудованием.

На рабочем месте должна быть разработана инструкция о конкретных мерах пожарной безопасности и противопожарном режиме, согласованная с пожарной охраной при ее наличии и утвержденная руководителем энергообъекта.

Первичные средства пожаротушения должны содержаться в исправном состоянии.

При организации противопожарного режима на объектах ответственность несут:

- руководители энергообъектов – за общее противопожарное состояние, организацию выполнения противопожарных мероприятий и требований противопожарного режима, работу созданных добровольных пожарных дружин;
- технические руководители – за работу пожарно-технических комиссий, техническое состояние средств пожаротушения и систем противопожарной автоматики, организацию выполнения нормативных противопожарных требований и подготовку персонала;
- руководители и инженерно-технические работники подразделений – за противопожарное состояние закрепленных за ними объектов или участков, а также подготовку персонала.

Каждый случай пожара (загорания) должен расследоваться специально назначенной комиссией для установления причин, убытков, виновников возникновения пожара (загорания).

## 9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

### 9.1 Технико-экономический расчет

В выпускной квалификационной работе рассматривается реконструкция котельной АО «Трубодеталь» с заменой двух паровых котлоагрегатов марки ДКВр 10/13 и ДЕ 14/16 – водогрейным марки RS-D 1000, для снижения затрат на выработку тепловой энергии в летний период.

Для обоснования экономической эффективности проекта необходимо составить смету капитальных затрат, произвести расчет капитальных затрат на реконструкцию и срок окупаемости проекта [3].

#### 9.1.1 Расчет капитальных затрат на реконструкцию

Капитальные затраты (расходы) – капитал, который используется компаниями для приобретения или модернизации (реконструкции) физических активов (жилой и промышленной недвижимости, оборудования, технологий).

Капитальные затраты на реконструкцию, тыс. руб. рассчитываются по формуле (9.1):

$$K_{\text{кап.затр}} = K_n + K_k + K_z + K_{p.m} + K_{m.p} + K_{\text{ПНРиРНИ}} + K_{\text{д.р}}, \quad (9.1)$$

где  $K_n$  - стоимость на разработку проекта (включая экспертизу проекта), тыс. руб.;

$K_k$  - стоимость котлоагрегата RS-D 1000, тыс. руб.;

$K_z$  - стоимость горелки BLU 1200.1 PAB TC, тыс. руб.;

$K_{p.m}$  - стоимость расходных материалов (с дымовой трубой до 12 м), тыс. руб.;

$K_{m.p}$  - стоимость монтажных работ, тыс. руб.;

$K_{\text{ПНРиРНИ}}$  - стоимость пуско-наладочные работы и режимно-наладочные испытания, тыс. руб.;

$K_{\text{д.р}}$  - стоимость демонтажных работ, тыс. руб.

Затраты на разработку проекта (включая экспертизу проекта), закупку котлоагрегата RS-D 1000 и газовой горелки BLU 1200.1 PAB TC, расходные материалы (с дымовой трубой до 12 м), монтажные работы, пуско-наладочные работы (ПНР) и режимно-наладочные испытания (РНИ), демонтаж двух паровых котлоагрегатов и вспомогательного оборудования (дымососы, вентиляторы, экономайзеры, газопроводы, трубопроводы котлов), по данным КП ООО «Монтаж. Наладка. Пуск» и планового отдела ЦЭО АО «Трубодеталь» приведены в таблице 9.1.

										Лист
										75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.544.02.ПЗ					

Таблица 9.1 – Смета капитальных затрат на реконструкцию, тыс. руб

Наименование	Значение
1. Стоимость на разработку проекта (включая экспертизу проекта) – $K_n$	250
2. Стоимость котлоагрегата RS-D 1000 – $K_k$	526,6
3. Стоимость горелки BLU 1200.1 PAB TC – $K_z$	243,6
4. Стоимость расходных материалов (с дымовой трубой до 12 м) – $K_{p.m}$	530
5. Стоимость монтажных работ – $K_{m.p}$	600
6. Стоимость пуско-наладочные работы и режимно-наладочные испытания – $K_{ПНРиРНИ}$	130
7. Стоимость демонтажных работ – $K_{д.p}$	900

$$K_{\text{кап.затр}} = 250 + 526,6 + 243,6 + 530 + 600 + 130 + 900 = 3180,2 \text{ тыс. руб.}$$

#### 9.1.2 Расчет текущих затрат на газ

1 Расход газа  $B_{\text{факт}}^n = 627714 \text{ м}^3$  (фактические данные за период июнь – сентябрь без установки «летнего» котла, по данным планового отдела ЦЭО АО «Трубодеталь»);

2 Тариф на газ  $C_z = 4,114 \text{ руб/1000 м}^3$  (по данным планового отдела ЦЭО АО «Трубодеталь»);

3 Потребление воды на ГВС,  $G^{ГВС}$ , определим по формуле (9.2):

$$G^{ГВС} = G_{\text{сут}}^{ГВС} \cdot n, \quad (9.2)$$

где  $G_{\text{сут}}^{ГВС} = 165,9 \text{ м}^3/\text{сут}$  – расчетный (удельный) суточный среднегодовой расход горячей воды (по данным планового отдела ЦЭО АО «Трубодеталь»);

$n = 122$  – количество дней в период июнь-сентябрь.

$$G^{ГВС} = 165,9 \cdot 122 = 20239,8 \text{ м}^3$$

4 Количество тепла, необходимое для ГВС завода,  $Q_{\text{кал}}$ , рассчитаем по формуле (9.3):

$$Q^{ГВС} = 1,4 \cdot G^{ГВС} \cdot (h_1 - h_2) \cdot 10^{-3}, \quad (9.3)$$

где 1,4 – коэффициент, учитывающий потери в теплообменниках, теплосетях, сетях ГВС, в котельном оборудовании;

$h_1$  – теплосодержание воды при температуре 75°C = 75,03 ккал/кг (по СНиПу температура горячей воды от 50-75 °С);

$h_2$  – теплосодержание воды при температуре 15 °С = 15,11 ккал/кг.

$$Q^{ГВС} = 1,4 \cdot 20239,8 \cdot (75,03 - 15,11) \cdot 10^{-3} = 1700 \text{ Гкал}$$

5 Расход газа котлом для выработки 1700 Гкал тепла, определим по формуле (9.4):

$$B_{\text{план}}^л = \frac{Q^{ГВС} \cdot 10^6}{Q_n^p \cdot \eta}, \quad (9.4)$$

где  $Q_n^p = 8640$  ккал/м<sup>3</sup> – низшая рабочая теплота сгорания топлива;

$\eta = 94,5\%$  – КПД котла.

$$B_{\text{план}}^л = \frac{1700 \cdot 10^6}{8640 \cdot 0,945} = 208210 \text{ м}^3$$

6 Затраты на газ без установки «летнего» котла, определим по формуле (9.5):

$$I_1 = B_{\text{факт}}^л \cdot C_z, \quad (9.5)$$

где  $C_z = 4,114$  руб/1000м<sup>3</sup> – тариф на газ, (по данным планового отдела ЦЭО АО «Трубодеталь»)

$$I_1 = 627714 \cdot 4,114 = 2582,415 \text{ тыс. руб./год}$$

7 Затраты на газ с установкой «летнего» котла, определим по формуле (9.6):

$$I_2 = B_{\text{план}}^л \cdot C_z, \quad (9.6)$$

$$I_2 = 208210 \cdot 4,114 = 856,576 \text{ тыс. руб./год}$$

8 Рассчитаем текущие затраты на газ, тыс. руб., по формуле (9.7):

$$\Delta I = I_1 - I_2 \quad (9.7)$$

					13.03.01.2018.544.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

где  $I_1$  – затраты на газ без установки «летнего» котла, тыс. руб./год;

$I_2$  – затраты на газ с установкой «летнего» котла, тыс. руб./год

$$\Delta I = 2582,415 - 856,576 = 1725,839 \text{ тыс. руб./год}$$

### 9.1.3 Расчет срока окупаемости проекта

Срок окупаемости проекта реконструкции рассчитывается по формуле (9.8):

$$K_{ок.мод} = \frac{K_{кап.затр}}{\Delta I}, \quad (9.8)$$

где  $K_{кап.затр}$  – капитальные затраты на реконструкцию, тыс. руб.;

$\Delta I$  – текущие затраты на газ, тыс. руб./год

$$K_{ок.рек} = \frac{3180,2}{1725,839} = 1,84 \text{ года}$$

Вывод: Срок окупаемости проекта реконструкции составил 1,84 года. Это значит, что проект реконструкции котельной АО «Трубодеталь» с заменой двух паровых котлов водогрейным, экономически выгоден, т.к. в настоящее время нормативный срок окупаемости составляет 5 лет.

## 9.2 SWOT-анализ вариантов проектных решений

SWOT анализ – это метод первичной оценки текущей ситуации основанный на рассмотрении ее с четырёх сторон [3]. SWOT– анализ является одной из методик анализа сильных и слабых сторон вариантов реконструкции на предприятии, его внешних благоприятных возможностей и угроз.

SWOT– анализ включает в себя:

- Сильные стороны (Strengths) – преимущества предприятия.
- Слабые стороны (Weaknesses) – недостатки предприятия.
- Возможности (Opportunities) – факторы внешней среды, использование которых создает преимущество предприятия на рынке.
- Угрозы (Threats) – факторы, которые могут потенциально ухудшить положение предприятия на рынке.

Сильные и слабые стороны – это внутренняя среда предприятия, то, что предприятие уже имеет на текущий момент времени.

Возможности и угрозы – это факторы внешней среды, они могут произойти, а могут и нет, это зависит, в том числе и от действий и решений предприятия.

					<i>13.03.01.2018.544.02.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

Произведем оценку целесообразности реконструкции котельной АО «Трубодеталь» с установкой водогрейного котла RS-D 1000.

SWOT-анализ котельной без установки котла представлен в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – SWOT-анализ котельной без установки котла

S: сильные стороны	W: слабые стороны
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Налаженный метод эксплуатации имеющегося энергетического оборудования.</li> <li>2. Простота тепловой схемы имеющегося оборудования.</li> <li>3. Отсутствие капиталовложений.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Большой расход топлива на выработку тепловой и электрической энергии.</li> <li>2. Увеличение потерь теплоты водогрейных котлов в летний период.</li> <li>3. Отсутствие резервных источников нагрева в случае аварийных и плановых ремонтах.</li> </ol>
O: внешние благоприятные факторы	T: внешние угрозы
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возросший спрос на тепловую энергию.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Штрафы за неэффективное использование энергоресурсов.</li> </ol>

SWOT-анализ котельной с установкой котла представлен в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – SWOT - анализ котельной с установкой котла

S: сильные стороны	W: слабые стороны
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отсутствие потерь теплоты водогрейных котлов в летний период.</li> <li>2. Снижение себестоимости ГВС в летний период за счет экономии электроэнергии, газа, ФОТ при отключении котельной в летний период и использовании локальных котлов малой мощности.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Большие капиталовложения.</li> <li>2. Затраты на переподготовку персонала для работы на новом оборудовании.</li> </ol>
O: внешние благоприятные факторы	T: внешние угрозы
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Огромный выбор производителей и поставщиков котельных агрегатов.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отсутствие инвесторов.</li> </ol>

Вывод: SWOT-анализ показал, что реализация проекта по реконструкции котельной АО «Трубодеталь» с установкой водогрейного котла марки RS-D 1000 позволит эффективнее использовать энергетические ресурсы, снизить потери теплоты и затраты на выработку тепловой энергии в летний период.

## 9.3 Планирование целей проекта

### 9.3.1 Планирование целей проекта в дереве целей

Дерево целей представляет структурную модель, показывающую подчиненность и связь целей подразделений в иерархии управления [3].

Миссия – предназначение организации в условиях постоянно меняющихся факторов внешней среды.

Дерево целей позволяет выявить, какие возможные комбинации обеспечат наилучшую отдачу. Термин «дерево» предполагает использование иерархической структуры (от старшей к младшей), полученной путем разделения общей цели на подцели.

Соответственно, наверху находится главная, генеральная цель организации. Поскольку достижение генеральной стратегической цели организации является достаточно сложной задачей, то производят декомпозицию цели – разложение цели на несколько более мелких целей, совокупное достижение которых приводит к достижению основной цели.

Цели сформулированы по принципу SMART, т.е. принципиально достижимы, определены количественно и по срокам выполнения, имеют отраслевую специфичность, управленческие методы при их реализации должны соответствовать складывающимся в процессе деятельности организации конкретным ситуациям. При составлении дерева целей необходимо учитывать влияние внешних факторов.

При построении «дерева целей» его проектирование идет по методу «от общего к частному». Прекращение декомпозиции цели на более мелкие прекращается в тот момент, когда дальнейший процесс является нецелесообразным в рамках рассмотрения главной цели. Правильно построенное дерево целей в дальнейшем легко может быть преобразовано в план-график или диаграмму Ганта.

Построение дерева целей само по себе представляет лишь методику разработки стратегии достижения поставленной генеральной цели. Соответственно, результат и качество построенной иерархической совокупности целей зависит в основном от квалификации специалиста, составившего дерево целей. По аналогии с обычными инструментами, сам метод представляет собой инструмент, значительно облегчающий работу, но результат применения метода зависит от исполнителя.

Основная ценность построения дерева целей - отображение способа достижения Генеральной цели через составление иерархического перечня понятных и достижимых целей нижнего уровня. Если при ознакомлении с деревом целей по прежнему неясно, как достичь Главную или какую-либо из целей более низкого уровня, то дерево целей составлено абсолютно бесполезно.

Дерево целей проекта представлено на рисунке 9.1, которое будет реализовано к 01.06.2018 года.

						<i>Лист</i>
					<i>13.03.01.2018.544.02.ПЗ</i>	
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		80



					<i>13.03.01.2018.544.02.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>81</i>

### 9.3.2 График Гантта

Диаграмма Гантта (график Гантта, календарный график) – это популярный тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации плана, графика работ по какому-либо проекту.

График Гантта один из самых популярных инструментов для наглядной иллюстрации календарного плана в проектном менеджменте [3].

С учётом того, что большая часть людей является визуалами, диаграмма даёт возможность решить одну из основных задач и показать персоналу, над чем следует работать, какие ресурсы применять в процессе и с какой скоростью выполнять те или иные задачи. Вся информация подаётся в сжатом виде, без использования запутанных таблиц и огромного количества текста. При этом суть ясна и понятна всем, без исключения, участникам проекта.

Использование диаграммы значительно упрощает управление проектами небольших масштабов и даёт возможность всегда держать деятельность сотрудников под контролем.

Первый формат диаграммы был разработан Генри Л. Ганттом в 1910 году.

По сути, диаграмма Гантта состоит из полос, ориентированных вдоль оси времени. Каждая полоса на диаграмме представляет отдельную задачу в составе проекта (вид работы), ее концы – моменты начала и завершения работы, ее протяженность – длительность работы. Вертикальной осью диаграммы служит перечень задач. Кроме того, на диаграмме могут быть отмечены совокупные задачи, проценты завершения, указатели последовательности и зависимости работ, метки ключевых моментов (вехи), метка текущего момента времени «Сегодня» и др.

Ключевым понятием диаграммы Гантта является «Веха» – метка значимого момента в ходе выполнения работ, общая граница двух или более задач. Вехи позволяют наглядно отобразить необходимость синхронизации, последовательности в выполнении различных работ. Вехи, как и другие границы на диаграмме, не являются календарными датами. Сдвиг вехи приводит к сдвигу всего проекта. Поэтому диаграмма Гантта не является, строго говоря, графиком работ. Кроме того, диаграмма Гантта не отображает значимости или ресурсоемкости работ, не отображает сущности работ (области действия). Для крупных проектов диаграмма Гантта становится чрезмерно тяжеловесной и теряет всякую наглядность.

Указанные выше недостатки и ограничения серьёзно ограничивают область применения диаграммы. Тем не менее, в настоящее время диаграмма Гантта является стандартом де-факто в теории и практике управления проектами, по крайней мере, для отображения структуры перечня работ по проекту.

График Гантта позволяет обеспечить графическое отображение производственного плана, упрощает контроль за прогрессом в выполнении поставленных задач.

План – график Ганта представлен в таблице 9.4.

					<i>13.03.01.2018.544.02.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		83

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом выполненной работы является описание действующего оборудования котельной АО «Трубодеталь», с установкой котельного агрегата марки RS-D 1000.

Выполнен поверочный тепловой расчет водогрейного котла RS-D 1000, предназначенного для нагрева сетевой воды при сжигании газа. Поверочный расчет производят для оценки показателей экономии и надежности котла при работе на заданном топливе, выявления необходимых реконструктивных мероприятий, выбора вспомогательного оборудования.

В результате расчета определено: необходимое количество воздуха для горения топлива; коэффициент полезного действия котлоагрегата; расход топлива котлом.

Кратко рассмотрена функциональная схема автоматизации котельного агрегата RS-D 1000. Схема автоматизации вычерчена в соответствии с ГОСТ 21.404 – 85 «Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах».

В разделе экономика и управление показана экономическая эффективность реконструкции котельной АО «Трубодеталь» с заменой двух паровых котлов водогрейным, рассчитан срок окупаемости, который составляет 1,84 года.

Так же в выпускной квалификационной работе были рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности обслуживающего персонала, включающие в себя мероприятия по технике безопасности и по противопожарной безопасности.

В разделе охраны окружающей среды рассмотрены методы защиты от вредных выбросов с уходящими газами котлов, также произведен расчет и выбор дымовой трубы.

					13.03.01.2018.544.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Акимов, Ю.И. Тепловой расчет котлоагрегатов: Учебное пособие / Ю.И. Акимов, А.В. Васильев, Г.В. Антропова. Саратовский государственный технический университет, Саратов, 2006. – 95 с.

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

3 Алабугин, А.А. Экономико-управленческая часть дипломного проекта: учебное пособие по выполнению дипломного проекта для студентов энергетического факультета / А.А. Алабугин, Р.А. Алабугина. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2011. – 46 с.

4 Александров, А.А. Таблицы теплофизические свойства воды и водяного пара: Справочник. Рек. Гос. службой стандартных справочных данных / А.А. Александров, Б.А. Григорьев. ГСССД Р-776-98 – М.: Издательство МЭИ. 1999. – 168 с.

5 Александров, В.Г. Паровые котлы малой и средней мощности / В.Г. Александров. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.: «Энергия», 1972. – 200 с.

6 ГОСТ 7.1-2003 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу: Библиографическая запись. Библиографическое описание / Общие требования и правила составления. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 166 с.

7 Грибанов, А.И. Вопросы экологии в промышленной теплоэнергетике: конспект лекций / А.И. Грибанов. – Челябинск: Издательский центр, ЮУрГУ, 2013. – 60 с.

8 Грибанов, А.И. Экологическая безопасность в теплоэнергетике: учебное пособие / А.И. Грибанов, Л.М. Киселева, И.П. Палатинская. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 70 с.

9 Григорьев, В.И. Справочник энергетика/ В.И. Григорьев. – М.: Изд-во Колосс 2006, – 205 с.

10 Гусев, Ю.Л. Основы проектирования котельных установок: учебное пособие / Ю.Л. Гусев. – М.: Стройиздат. 1973г. – 248 с.

11 Данилов, О.Л. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник / О.Л. Данилов, А.Б. Горяев, Яковлев И.В. – М.: Изд-во МЭИ, 2010. – 451 с.

12 Положение об итоговой государственной аттестации выпускников высших учебных заведений РФ, утвержденное приказом Министерства образования РФ от 25.03.2003 г., № 1155.

13 Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок. Минэнерго РФ от 24 марта 2003.

14 Ривкин, С. Л. Теплофизические свойства воды и водяного пара / С.Л. Ривкин, А.А. Александров – М.: «Энергия», 1980. – 424 с.

					13.03.01.2018.544.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

- 15 СНиП II-35-76. Котельные установки. Госстрой России. – М. Стройиздат, 2017.
- 16 СТО ЮУрГУ 04-2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.
- 17 Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). Издание 3-е, переработанное и дополненное. Издательство НПО ЦКТИ, СПб, 1998, 256 с.
- 18 Эстеркин, Р.И. Котельные установки. Курсовое и дипломное проектирование: учебное пособие для техникумов / Р.И. Эстеркин. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 280 с.
- 19 Федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды»
- 20 Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ».
- 21 Автоматика безопасности котельных установок. – URL.:  
[https://studopedia.ru/17\\_44600\\_avtomatika-bezopasnosti-kotelnoy.html](https://studopedia.ru/17_44600_avtomatika-bezopasnosti-kotelnoy.html)  
[http://www.rosteplo.ru/w/Общие\\_требования\\_к\\_системам\\_автоматики\\_безопасности\\_регулирувания\\_контроля\\_и\\_управления\\_оборудованием\\_котельных](http://www.rosteplo.ru/w/Общие_требования_к_системам_автоматики_безопасности_регулирувания_контроля_и_управления_оборудованием_котельных)
- 22 Buderus официальный сайт. Котлы, водонагреватели, тепловые насосы, радиаторы, коллекторы. – <https://www.buderus.ru/>
- 23 Водогрейные котлоагрегаты малой мощности. Теплотехнические особенности применения. – [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4981](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4981)
- 24 Горелки Ecoflam. – <https://www.ecoflam-burners.com/>
- 25 Основные способы обеспечения безопасной эксплуатации котельных установок. – [http://libraryno.ru/5-11-3-osnovnye-sposoby-obespecheniya-bezopasnoy-ekspluatacii-kotel-nyh-ustanovok-2015\\_bgd/](http://libraryno.ru/5-11-3-osnovnye-sposoby-obespecheniya-bezopasnoy-ekspluatacii-kotel-nyh-ustanovok-2015_bgd/)
- 26 Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года – URL.: <http://base.garant.ru/70169264/>  
[http://studbooks.net/874846/ekologiya/rasporiyazhenie\\_noyabrya\\_2008\\_1662](http://studbooks.net/874846/ekologiya/rasporiyazhenie_noyabrya_2008_1662)
- 27 Сравнение зарубежных и отечественных водогрейных котлов. – <http://megaobuchalka.ru/9/23873.html>
- 28 Характеристика котлов RS-D. – URL.:  
<http://gasboiler.otoplenie.psyfiles.ru/014953.html>  
[http://туймазы-котлы.рф/image/data/files/ruk\\_po\\_ekspl\\_rsd\\_200-15000.16.03.2015.pdf](http://туймазы-котлы.рф/image/data/files/ruk_po_ekspl_rsd_200-15000.16.03.2015.pdf)  
[http://gazkotel.com/d/211757/d/kotly-gazovye-rs-\(2013\).pdf](http://gazkotel.com/d/211757/d/kotly-gazovye-rs-(2013).pdf)
- 29 Энергетическая стратегия России. – <https://minenergo.gov.ru/node/1026>  
<http://mirznanii.com/a/323261/problems-energoberezheniya-v-rossii>