

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

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент,  
Начальник ПТО,  
МУП «Тепловые системы»  
\_\_\_\_\_ С.О. Кулапин  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой  
промышленной теплоэнергетики,  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ К.В. Осинцев  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

**РЕКОНСТРУКЦИЯ КОТЕЛЬНОЙ №1 ПО УЛ. ХЛЕБОЗАВОДСКОЙ  
Г. КОРКИНО ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА  
ЮУрГУ–13.03.01.2018.084.23.ПЗ ВКР

Консультант по разделу  
«Экономика и управление»,  
старший преподаватель  
\_\_\_\_\_ Р.А. Алабугина  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Руководитель работы,  
**старший преподаватель**  
\_\_\_\_\_ **А.Г. Реш**  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Нормоконтролер,  
старший преподаватель  
\_\_\_\_\_ Р.А. Алабугина  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Автор работы,  
студент группы П - 479  
\_\_\_\_\_ **С.В. Темников**  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Челябинск 2018

## АННОТАЦИЯ

Темников С.В. Реконструкция котельной №1 по ул. Хлебозаводской г. Коркино Челябинской области. – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, Э; 2018, 84 с., 4 ил., библиогр. список – 62 наим., 1 прил., 5 листов чертежей ф.А1, 1 лист плаката ф.А1.

Данной выпускной квалификационной работой предусматривается реконструкция котельной №1 г. Коркино Челябинской области.

В Настоящее время на котельной установлено 3 водогрейных котла марки ВК-21.

Проектом реконструкции предусматривается установить один водогрейный котёл марки ВК-21, работающий на природном газе.

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

Во введении рассмотрены возможности использования отопительных котельных в современной России, также обозначены задачи, объект и предмет работы.

Первая глава посвящена описанию существующего положения на котельной, обосновывается актуальность реконструкции.

Во второй главе сделан обзор литературных источников.

В третьей главе проведено сравнение отечественных и зарубежных передовых технологий и решений в области водогрейных котлов.

В четвертой главе произведен тепловой поверочный расчёт котельного агрегата ВК-21.

В пятой главе разработка мероприятий по энергосбережению.

В шестой главе обзор контрольно-измерительных приборов, защиты и автоматики котельной.

В седьмой главе рассмотрены вопросы экологии.

В восьмой главе произведен анализ опасных и вредных производственных факторов при работе с водогрейным котлом.

В девятой главе экономика и управление.

Графическая часть выполнена с применением AutoCAD – системы автоматизированного проектирования на 5 листах формата А1.

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		2

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ КОТЕЛЬНОЙ №1 ПО УЛ. ХЛЕБОЗАВОДСКОЙ Г. КОРКИНО ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ .....	6
1.1 Расчет тепловой нагрузки района .....	6
1.2 Регулирование тепловой нагрузки .....	11
2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	16
3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ.....	18
4 ТЕПЛОВОЙ ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ КОТЛА ВК-21 .....	21
4.1 Расчет теоретического и действительного объемов воздуха и продуктов сгорания.....	22
4.2 Расчет энтальпий воздуха и продуктов сгорания.....	27
4.3 Тепловой баланс котельного агрегата .....	29
4.4 Тепловой расчет топочной камеры.....	32
4.5 Тепловой расчет конвективного пучка котла .....	38
4.6 Проверка теплового баланса котла .....	42
5 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	44
5.1 Разработка мероприятий по энергосбережению в котельной.....	46
6 АВТОМАТИЗАЦИЯ – ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ЗАЩИТА, АВТОМАТИКА.....	49
6.1 Автоматизация котельной.....	49
6.2 Контрольно-измерительные приборы .....	54
7 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ .....	55
7.1 Расчет дымовой трубы котельной.....	57
8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	61
8.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов при работе с водогрейным котлом .....	61
8.2 Безопасность производственных процессов и оборудования.....	65
8.3 Пожарная безопасность.....	67
8.4 Электробезопасность.....	69
9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ .....	71
9.1 Расчет капитальных и текущих затрат по вариантам реконструкции .....	71
9.2 Выбор лучшего варианта реконструкции .....	75
9.3 SWOT – анализ проектных решений.....	75
9.4 Планирование целей проекта в дереве целей .....	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	79
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	80
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	84
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Функциональная схема автоматики котла ВК-21 .....	84

## ВВЕДЕНИЕ

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		3

Проблемы высокой энергоемкости экономики, больших энергетических издержек в жилищно-коммунальном хозяйстве и государственном секторе актуальны как для России в целом, так и для Челябинской области в частности. Челябинская область является энергодефицитным регионом, получающим 100 процентов природного газа за счет внешних поставок, поэтому решение вопросов повышения энергоэффективности региональной экономики имеет приоритетное значение. Одной из основных задач государственной программы Челябинской области «Энергосбережения и повышения энергетической эффективности» до 2020 года является обеспечение снижения объема потребления топливно-энергетических ресурсов на объектах коммунального хозяйства и систем инженерной инфраструктуры в муниципальных образованиях Челябинской области [52].

Исходя из вышеизложенного, верно утверждать, что тематика организации оптимальной работы объектов теплоснабжения является актуальной.

Для обеспечения качественного теплоснабжения, а также для экономичной выработки теплоты, разработан тепловой режим.

Задачей разработки теплового режима является выбор рационального метода регулирования отпуска теплоты и построение соответствующего температурного графика воды в тепловых сетях.

За основу режима работы тепловой сети от котельной принят метод централизованного качественного регулирования отпуска теплоты, когда предусматривается постоянный расход теплоносителя в системе теплоснабжения при изменении температуры сетевой воды в подающем трубопроводе в зависимости от температуры наружного воздуха.

Регулирование отпуска тепла принято по отопительной нагрузке. В диапазоне наружных температур  $+8^{\circ}\text{Ñ} - (-13^{\circ}\text{Ñ})$  необходима срезка, равная  $70^{\circ}\text{Ñ}$ .

Данным проектом предусматривается реконструкция котельной №1 в г. Коркино Челябинской области.

Согласно теме работы предусматривается выполнение следующих строительно-монтажных работ:

Установка водогрейного отопительного котла ВК-21 с газовой горелкой (дополнительно к трем существующим).

## **1 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ КОТЕЛЬНОЙ №1 ПО УЛ. ХЛЕБОЗАВОДСКОЙ Г. КОРКИНО ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ**

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		4

Данной выпускной квалификационной работой предусматривается реконструкция котельной №1 по ул. Хлебозаводской г. Коркино Челябинской области.

Согласно заданию проектом предусматривается выполнение следующих строительно-монтажных работ:

Установка водогрейного отопительного котла ВК-21 с газовой горелкой (дополнительно к трём существующим ВК-21).

Газовый водогрейный автоматизированный котел ВК-21 предназначен для теплоснабжения по закрытой схеме (без непосредственного водозабора из теплосети) зданий и сооружений различного назначения, при работе на природном газе. Область применения ВК-21– электрифицированные и газифицированные зоны Российской Федерации, в составе котельной и передвижной автоматизированной котельной установки, на высотах – не выше 1000 метров над уровнем моря [54].

Для обоснования необходимости реконструкции исследуемой котельной, необходимо произвести расчёт тепловой нагрузки района.

### 1.1 Расчёт тепловой нагрузки района

Для расчета тепловой нагрузки района необходимы климатологические данные по породе Коркино Челябинской области, которые приведены ниже:

- Температура воздуха наиболее холодных суток – (–38 °С);
- Средняя месячная температура наиболее холодного месяца – (–15,8 °С);
- Продолжительность суток, периода со средней суточной температурой воздуха <8 °С – 218;
- Средняя температура воздуха, периода со средней суточной температурой воздуха <8 °С – (–6,5 °С);

Исходные данные сведены в таблицу 1.1 [29].

Таблица 1.1 – Исходные данные

Город	Количество жителей Z, чел.	Коэффициент $\beta$ .	Продолжительность отопительного периода $n_o, \frac{\text{ч}}{\text{год}}$ .	Расчетная температура воздуха $t_{i,i}, ^\circ\text{C}$ .
1	2	3	4	5
Коркино	2350	0,8	218	-34

Рассмотрим определение расхода теплоты на отопление по площади застройки. Таким способом определения расхода теплоты применяется только для жилых районов, городов. Будем считать, что дома построены после 1980 г., поэтому площадь, приходящаяся на 1 человека, примем равной [50]:

$$f_{\text{от}} = 18 \frac{\text{м}^2}{\text{чел.}}$$

Общая площадь застройки (1.1):

$$F = f_{\text{оа}} \cdot Z, \quad (1.1)$$

где  $Z$  – количество жителей района,

$$F = 18 \cdot 2350 = 42300 \text{ м}^2.$$

Для города Коркино  $t_{i,i} = -34^\circ \text{Ñ}$  – средняя температура наиболее холодной пятидневки из восьми зим за последние 50 лет. Тогда, отпуск тепла на  $1 \text{ м}^2$  застройки,  $q^f$ , равен [50]:

$$q^f = 87 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Расход тепла на отопление при  $t_i \leq t_{i,i}$  (1.2):

$$Q_0^I = q^f \cdot F \cdot (1 + k_1), \quad (1.2)$$

где  $k_1 = 0,25$  – коэффициент, учитывающий отпуск теплоты на отопление общественных зданий [50],

$$Q_0^I = 87 \cdot 42300 \cdot (1 + 0,25) = 4,60 \cdot 10^6 \text{ Вт} = 4,60 \text{ МВт}.$$

Под вентиляционной нагрузкой понимают потребность в теплоте для подогрева воздуха, подаваемого извне в помещения. В жилых зданиях без специальной проточной системы вентиляции расход теплоты  $Q_A = 0$  [50].

Для общественных зданий, расположенных в жилом районе определяют по формуле (1.3):

$$Q_A^I = q^f \cdot F \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (1.3)$$

где  $k_2 = 0,6$  – коэффициент, учитывающий расход тепла на вентиляцию общественных зданий [50]

По формуле (1.3):

$$Q_A^I = 87 \cdot 42300 \cdot 0,25 \cdot 0,6 = 0,55 \cdot 10^6 \text{ Вт} = 0,55 \text{ МВт}.$$

Нагрузка ГВС имеет существенный неравномерный характер как в течении суток, так и по дням недели. Наибольший расход горячей воды наблюдается в утренние и вечерние часы, из дней недели – в субботу.

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		6

При отсутствии данных о количестве и типе жилых и общественных зданий средненедельный расход теплоты на ГВС можно определять по формуле (1.4) [50]:

$$(Q_{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{n}\tilde{\delta}\tilde{t}})^{\xi} = \frac{1,2 \cdot (a + b) \cdot C_p \cdot Z \cdot (55 - t_x)}{n_c}, \quad (1.4)$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий остывание воды в трубах;

$a = 115 \frac{\text{ё}}{\tilde{n}\tilde{\delta}\tilde{t}}$  – норма расхода горячей воды на человека;

$b = 25 \frac{\text{ё}}{\tilde{n}\tilde{\delta}\tilde{t}}$  – норма расхода горячей вода для общественных зданий;

Принимаем температуру горячей воды  $t_{\tilde{a}} = 55^{\circ} \tilde{N}$ ;

Задаемся температурой холодной воды:

Зимой  $t_x = t_x^{\xi} = 5^{\circ} \tilde{N}$ ;

Летом  $t_x^{\xi} = 15^{\circ} \tilde{N}$ ;

Длительность подачи горячей воды:  $n = 86400 \tilde{n}$ , тогда:

$$(Q_{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{n}\tilde{\delta}\tilde{t}})^{\xi} = \frac{1,2 \cdot (115 + 25) \cdot 4190 \cdot 2350 \cdot (55 - 5)}{86400} = 0,96 \cdot 10^6 \hat{\Delta} = 0,96 \hat{\Delta} .$$

Средненедельный расход теплоты на ГВС летом (1.5):

$$(Q_{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{\delta}\tilde{a}\tilde{n}\tilde{t}})^{\xi} = 0,8 \cdot (Q_{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{n}\tilde{\delta}\tilde{t}})^{\xi} \cdot \frac{55 - t_x^{\xi}}{55 - t_x}, \quad (1.5)$$

$$(Q_{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{\delta}\tilde{a}\tilde{n}\tilde{t}})^{\xi} = 0,8 \cdot 0,96 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} = 0,61 \hat{\Delta} .$$

Расчетные значения нагрузки ГВС (1.6):

$$(Q_{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{\delta}\tilde{a}\tilde{n}\tilde{t}}) = k_i \cdot k_c \cdot (Q_{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{n}\tilde{\delta}\tilde{t}})^{\xi}, \quad (1.6)$$

где  $k_i = 1,2$  – коэффициент недельной неравномерности для жилых и общественных зданий [50];

$k_{\tilde{n}} = 2$  – коэффициент суточной неравномерности [50],

$$(Q_{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{\delta}\tilde{a}\tilde{n}\tilde{t}})^{\xi} = 1,2 \cdot 2 \cdot 0,96 = 2,30 \hat{\Delta} ,$$

$$(Q_{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{\delta}\tilde{a}\tilde{n}\tilde{t}})^{\xi} = 1,2 \cdot 2 \cdot 0,61 = 1,46 \hat{\Delta} .$$

Годовой расход теплоты на отопление (1.7):

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		7

$$Q_i^{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}} = Q_i^{\tilde{n}\tilde{\delta}} \cdot \left[ (n_{\tilde{i}} + n_{\tilde{a}}) + n_{\tilde{a}} \cdot \frac{t_{\tilde{a}\tilde{a}} - t_{\tilde{i}}^{\tilde{n}\tilde{\delta}\tilde{i}}}{t_{\tilde{a}} - t_{\tilde{i}}^{\tilde{n}\tilde{\delta}\tilde{i}}} \right], \quad (1.7)$$

где  $n_{\tilde{a}} = 0$  – продолжительность работы дежурного отопления [50].

Средний расход теплоты за отопительный период (1.8):

$$Q_i^{\tilde{n}\tilde{\delta}} = Q_i^I \cdot \frac{t_{\tilde{a}} - t_{\tilde{i}}^{\tilde{n}\tilde{\delta}\tilde{i}}}{t_{\tilde{a}} - t_{\tilde{i}}^{\tilde{i}}}, \quad (1.8)$$

$$Q_i^{\tilde{n}\tilde{\delta}} = 4,6 \cdot \frac{20 - (-6,5)}{20 - (-34)} = 2,26 \text{ ГДж}.$$

С учетом отсутствия дежурного отопления определим годовой расход теплоты на отопление (1.9):

$$Q_i^{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}} = Q_i^{\tilde{n}\tilde{\delta}} \cdot n_o, \quad (1.9)$$

$$Q_i^{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}} = 2,26 \cdot 218 \cdot 24 \cdot 3600 = 42,52 \text{ ГДж}.$$

Годовой расход теплоты на вентиляцию (1.10):

$$Q_{\tilde{A}}^{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}} = Q_B^I \cdot \left[ n_B + (n_o - n_B) \cdot \frac{t_B - t_{\tilde{i}}^{\tilde{n}\tilde{\delta}\tilde{i}}}{t_B - t_{\tilde{i}}^{\tilde{i}}} \right] \cdot \left( 1 - \frac{n_{\tilde{a}}^{\tilde{a}}}{n_o} \right), \quad (1.10)$$

где,  $n_{\tilde{a}} = n_{\tilde{i}}$  – продолжительность работы вентиляции;

$n_{\tilde{a}}^{\tilde{a}} = 0$  – продолжительность работы дежурной вентиляции [50].

Преобразуем формулу (1.10) с учетом отсутствия дежурной вентиляции:

$$Q_{\tilde{A}}^{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}} = Q_B^I \cdot n_B, \quad (1.11)$$

$$Q_{\tilde{A}}^{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}} = 0,55 \cdot 218 \cdot 24 \cdot 3600 = 10,36 \text{ ГДж}.$$

Годовой расход теплоты на ГВС (1.12):

$$Q_{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}} = (Q_{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{n}\tilde{\delta}\tilde{i}})^{\xi} \cdot \left[ n_o + \beta \cdot \frac{t_{\tilde{a}} - t_{\tilde{o}}^{\tilde{e}}}{t_{\tilde{a}} - t_{\tilde{o}}^{\tilde{c}}} \right] \cdot (n_{\tilde{a}} - n_o), \quad (1.12)$$

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8



где  $n_{\tilde{a}} = 350 \frac{\tilde{n}\hat{o}\hat{d}}{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}} = 8400 \frac{\div}{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}} = 30,24 \cdot 10^6 \frac{\tilde{n}}{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}}$  – продолжительность подачи горячей воды потребителю [50],

$$Q_{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}} = 0,96 \cdot \left[ 18,84 \cdot 10^6 + 0,8 \cdot \frac{55-15}{55-5} \cdot (30,24 \cdot 10^6 - 18,84 \cdot 10^6) \right] = 25,09 \text{ ГДж} .$$

Суммарный годовой расход теплоты (1.13):

$$Q_{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}} = Q_i^{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}} + Q_{\tilde{A}}^{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}} + Q_{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}}, \quad (1.13)$$

$$Q_{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}} = 42,52 + 10,36 + 25,09 = 77,97 \text{ ГДж} .$$

Суммарное значение нагрузок при  $t_i = -34^\circ \text{C}$  (1.14):

$$\sum Q = Q_i^I + Q_{\tilde{A}}^I + Q_{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^I, \quad (1.14)$$

$$\sum Q = 4,60 + 0,55 + 2,30 = 7,45 \text{ ГДж} .$$

Полученные данные сведём в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Расчётные значения нагрузок

$t_i, ^\circ \tilde{N}$	$Q_i^I, \text{ГДж}$	$Q_{\tilde{A}}^I, \text{ГДж}$	$Q_{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\text{max}}, \text{ГДж}$	$\sum Q, \text{ГДж}$
1	2	3	4	5
8	1,02	0,12	2,30	3,44

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5
5	1,28	0,15	2,30	3,73
0	1,70	0,20	2,30	4,21
-5	2,13	0,25	2,30	4,68
-10	2,56	0,31	2,30	5,16
-13,1	2,83	0,34	2,30	5,46
-15	2,98	0,36	2,30	5,64
-20	3,41	0,41	2,30	6,11
-25	3,83	0,46	2,30	6,59
-30	4,26	0,51	2,30	7,07
-34	4,60	0,55	2,30	7,45

## 1.2 Регулирование тепловой нагрузки

Качественное регулирование по отопительной нагрузке предполагает, что  $G_o = const$ . Требуется определить  $\tau_{o1} = f(t_i)$  и  $\tau_{o2} = f(t_i)$ . Для отопительной установки максимальная разность температур  $\Delta = \tau_{o1} - t_a$  [50].

При температуре  $t_{i,i} = -34^\circ\text{C}$  задаемся температурами теплоносителя:

$\tau'_{o1} = 95^\circ\text{Ñ}$  – температура воды в подающем трубопроводе;

$\tau'_{i2} = 70^\circ\text{Ñ}$  – температура воды в обратном трубопроводе;

Перепад температур в тепловой сети (1.15):

$$\delta\tau'_i = \tau'_{o1} - \tau'_{i2}, \quad (1.15)$$

$$\delta\tau'_i = 95 - 70 = 25^\circ\text{Ñ}.$$

Разность температур в системе отопления у потребителя (1.16):

$$\theta'_i = \tau'_{i1} - \tau'_{i2}, \quad (1.16)$$

$$\theta'_i = 95 - 70 = 25^\circ\text{Ñ}.$$

Температурный напор нагревательного прибора (1.17):

$$\Delta t'_o = \frac{\tau'_{i3} + \tau'_{i2}}{2} - t_a, \quad (1.17)$$

$$\Delta t'_o = \frac{95 + 70}{2} - 20 = 62,5^\circ\text{Ñ}.$$

Температура воды в подающем трубопроводе (1.18):

$$\tau_{i1} = t_i + \Delta t \cdot \left( \frac{t_i - t_i}{t_i - t_{i,i}} \right)^{0,8} + (\Delta\tau - 0,5 \cdot \theta) \cdot \left( \frac{t_i - t_i}{t_i - t_{i,i}} \right). \quad (1.18)$$

Температура воды в обратном трубопроводе (1.19):

$$\tau_{i2} = t_i + \Delta t \cdot \left( \frac{t_i - t_i}{t_i - t_{i,i}} \right)^{0,8} - 0,5 \cdot \theta \cdot \left( \frac{t_i - t_i}{t_i - t_{i,i}} \right). \quad (1.19)$$

Полученные данные сведем в таблицу 1.3.

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		10

Таблица 1.3 – Качественное регулирование по отопительной нагрузке в закрытых системах теплоснабжения

$t_i, \text{ }^\circ\tilde{N}$	-34,0	-30,0	-25,0	-20,0	-15,0	-13,1	-10,0	-5,0	0,0	5,0	8,0
$\tau_{i1}, \text{ }^\circ\tilde{N}$	95,0	90,3	84,4	78,4	72,2	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
$\tau_{i2}, \text{ }^\circ\tilde{N}$	70,0	67,1	63,6	59,9	56,0	54,6	52,1	47,9	43,6	38,9	35,9

Подрезка графика делается при температуре  $70 \text{ }^\circ\tilde{N}$ , так как температура ГВС с учетом потерь в теплообменнике не может быть ниже данной температуры в закрытых системах теплоснабжения [50]. В таком случае определим температуры по рисунку 1:

$$t_{i\tilde{e}} = -13,1 \text{ }^\circ\tilde{N};$$

$$t_{i\tilde{a}} = -34 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\tau''_{o1} = 70 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\tau''_{i2} = 54,6 \text{ }^\circ\tilde{N}.$$

Температуры теплоносителя при качественном регулировании по отопительной нагрузке в закрытой системе теплоснабжения покажем на рисунке 1.

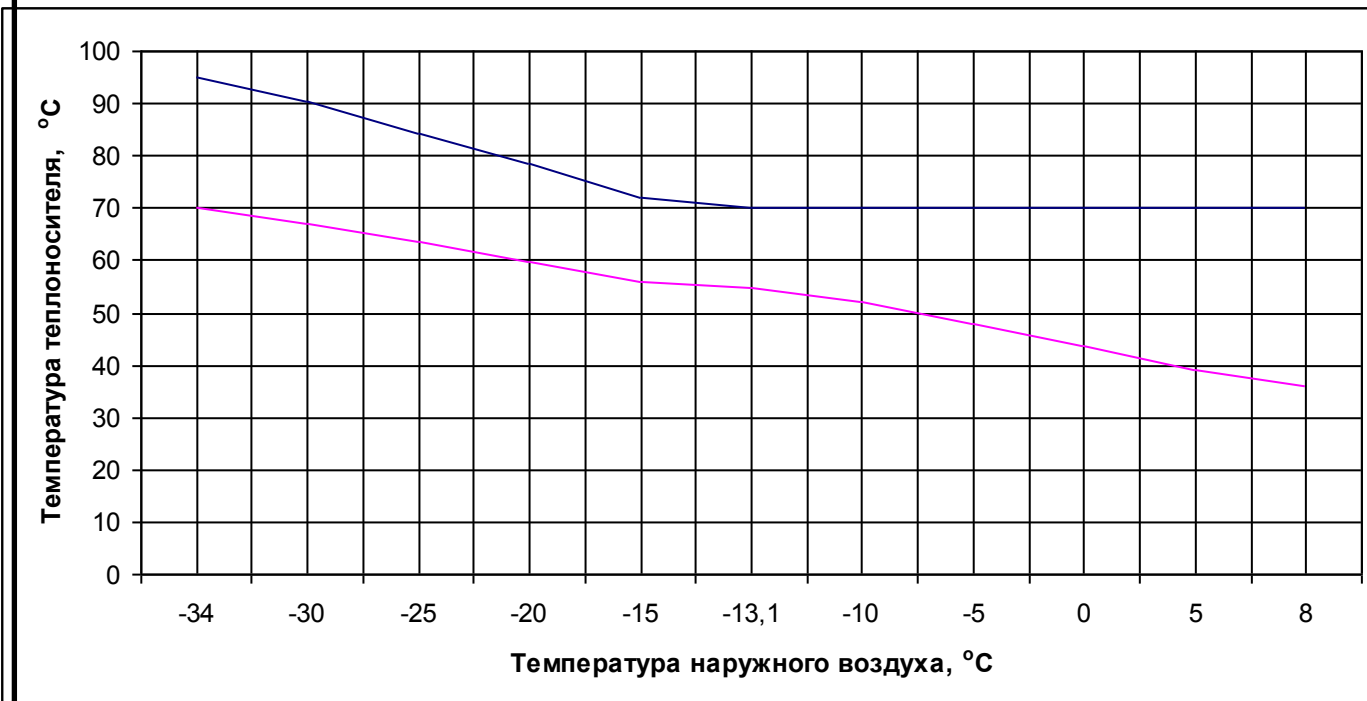


Рисунок 1 – Температуры теплоносителя при качественном регулировании по отопительной нагрузке в закрытой системе теплоснабжения

При  $t_i > t_{i\grave{e}}$  происходит смена регулирования с качественного на количественное, либо регулирование пропусками.

При  $t_i < t_{i\grave{e}}$  график температур сетевой воды рассчитывается для случая регулирования либо по отопительной нагрузке, либо по совмещенной нагрузке отопления и ГВС.

Расход воды на отопление  $G'_o$  будет неизменным при любой температуре в интервале температур от  $t_{i\grave{e}}$  до  $t_{i,\hat{i}}$ , его можно определить, используя следующую формулу (1.20), [50]:

$$G'_o = \frac{Q'_o}{C_p \cdot \delta\tau'_o}, \quad (1.20)$$

$$G'_o = \frac{4,60 \cdot 10^3}{4,19 \cdot 25} = 43,9 \frac{\text{êã}}{\text{ñ}}.$$

При температуре больше чем  $t_{i\grave{e}}$  расход сетевой воды на отопление рассчитывается с учетом подрезки температурного графика (1.21):

$$G_o^{+8} = \frac{Q_o}{C_p \cdot (\tau''_{o1} - \tau''_{i2})}, \quad (1.21)$$

$$G_o^{+8} = \frac{1,02 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (70 - 35,9)} = 7,2 \frac{\text{êã}}{\text{ñ}}.$$

Аналогично для расхода воды на вентиляцию, при любой температуре в интервале температур от  $t_{i\grave{e}}$  до  $t_{i,\hat{i}}$  (1.22):

$$G'_A = \frac{Q'_A}{C_p \cdot \delta\tau'_o}, \quad (1.22)$$

$$G'_A = \frac{0,55 \cdot 10^3}{4,19 \cdot 25} = 5,25 \frac{\text{êã}}{\text{ñ}}.$$

При температуре больше чем  $t_{i\grave{e}}$  расход сетевой воды на вентиляцию рассчитывается с учетом подрезки температурного графика (1.23):

$$G_A^{+8} = \frac{Q_A}{C_p \cdot (\tau''_{o1} - \tau''_{i2})}, \quad (1.23)$$

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		12

$$G_A^{+8} = \frac{0,12 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (70 - 35,9)} = 0,86 \frac{\hat{e}\tilde{a}}{\tilde{n}}.$$

Расход сетевой воды на ГВС (1.24):

$$G_{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}} = \frac{Q_{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\max}}{C_p \cdot (\tau_{o1}'' - \tau_{i2}'')} \quad (1.24)$$

Сведем полученные данные в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Расходы теплоносителя при качественном регулировании по отопительной нагрузке в закрытых системах теплоснабжения

$t_i, ^\circ C$	-34,0	-30,0	-25,0	-20,0	-15,0	-13,1	-10,0	-5,0	0,0	5,0	8,0
$G'_o, \frac{\hat{e}\tilde{a}}{\tilde{n}}$	43,91	43,91	43,91	43,91	43,91	43,9	34,1	23,1	15,4	9,8	7,2
$G'_A, \frac{\hat{e}\tilde{a}}{\tilde{n}}$	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	4,08	2,76	1,84	1,17	0,86
$G'_{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}, \frac{\hat{e}\tilde{a}}{\tilde{n}}$	21,96	23,71	26,35	29,64	33,88	35,75	30,68	24,91	20,80	17,68	16,14

В результате проведения расчета тепловой нагрузки района я получил следующие сведения:

Тепловая нагрузка района увеличилась до 7,45 МВт, вследствие ввода в эксплуатацию двух многоквартирных домов. Мощности эксплуатируемых котлов КВ-21 не достаточно для полноценного обеспечения потребностей района. Именно поэтому решено произвести реконструкцию отопительной котельной с добавлением котла КВ-21 (к трём уже существующим котлам КВ-21).

## 2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Настоящая выпускная квалификационная работа выполнена согласно «Энергетической стратегии России до 2030 года» от 13 ноября 2009 года, а также «Стратегии социально-экономического развития Челябинской области до 2020 года» от 26 марта 2014 года.

Энергетическая стратегия России формирует новые ориентиры развития энергетического сектора в рамках перехода российской экономики на инновационный путь развития, предусмотренный концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г.

Главной целью энергетической программы Челябинской области является обеспечение промышленного и аграрного комплекса энергоносителями по ценам, приемлемым с точки зрения конкурентоспособности местной продукции на федеральном рынке, создание условий для динамического развития региона и снижение нагрузки на природную среду.

Для достижения этой цели необходимы активная политика энергосбережения, реконструкция действующих объектов теплоснабжения, использование новых перспективных энергетических технологий, максимальное вовлечение в топливный цикл местных ресурсов и дешевых ресурсов соседних регионов.

В процессе разработки проекта реконструкции исследуемой котельной были использованы следующие нормативно – справочные документы:

- ГОСТ 27322-87 Энергобаланс промышленного предприятия;
- СП 89.13330.2012 Котельные установки;

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		14

- СП 131.13330.2012 Строительная климатология;
- «Правил безопасности систем газораспределения и газопотребления» ПБ 12-529-03;

Основным нормативным документом, используемым при разработке рекомендаций по энергосбережению, является Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».

Тепловой расчет котельного агрегата выполнен согласно методики, изложенной в книге Н.В. Кузнецова «Тепловой расчет котельных агрегатов».

Раздел «Вопросы экологии» выполнен в соответствии с Федеральным законом «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ.

При разработке вопросов безопасности жизнедеятельности использовались следующие нормативные документы:

- ГОСТ 12.0.003-80 Опасные и вредные производственные факторы;
- ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов;
- ГОСТ14202-69 Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки;
- СП 4.13130.2013 Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты;
- ПБ 10-574-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов и другие;
- ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности»;
- ГОСТ 12.1.012-БТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования»;
- СНиП 23-05-95\* «Естественное и искусственное освещение».

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		15

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

Источником теплоты называется комплекс оборудования и устройств, с помощью которых осуществляется преобразование природных и искусственных видов энергии в тепловую энергию с требуемыми для потребителей параметрами [50].

В наши дни во всем мире преимущественно применяются источники теплоты, использующие органические топлива – твердое, жидкое, газообразное.

Основным источником теплоты являются теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), вырабатывающие комбинированным способом электрическую и тепловую энергии, и котельные, вырабатывающие теплоту. Главным оборудованием любой котельной является котельный агрегат.

Водогрейный котел – устройство, имеющее топку, обогреваемое продуктами сжигаемого в ней топлива, и предназначенное для нагревания воды, находящейся под давлением выше атмосферного и используемой в качестве теплоносителя вне самого устройства.

Теплота, вырабатываемая водогрейными котлами, используется на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, а также может использоваться на различные технологические нужды.

Максимальная температура воды на выходе из котлов в зависимости от их теплопроизводительности может составлять 95, 115, 150 и 200 °С.

Все водогрейные котлы можно разделить на газотрубные и водотрубные. По материалу, из которого изготовлены водогрейные котлы, их можно разделить на стальные и чугунные. Чугунные котлы отличаются большей коррозионной стойкостью.

По характеру циркуляции воды (независимо от конструкции) все водогрейные котлы являются прямоточными.

Водогрейный котел состоит из топочного устройства и тепловоспринимающих поверхностей, которые для водотрубных котлов делятся на топочные экраны,

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		16



выполненные из отдельных панелей, представляющих собой ряд параллельно включенных труб, объединенных входными и выходными коллекторами, и конвективные поверхности нагрева, в большинстве случаев набираемые из змеевиков [54].

Согласно данным на конец 2016 — начало 2017 г., в ближайшие несколько лет спрос на водогрейные котлы в России вернется на докризисный уровень, отыграв потери 2015–2016 гг. Тенденция роста во многом обусловлена по-прежнему острой необходимостью модернизации муниципальных теплосетей, котельных и ТЭЦ, износ оборудования и инфраструктуры которых, по официальным данным, достигает 70%. Значительная часть действующего оборудования котельных, работающих еще со времен СССР, требует замены. В других случаях необходима модернизация в связи с переводом с угля и мазута на газ. В этой ситуации необходимо адекватное предложение, отвечающее всем запросам энергетиков.

Каждый выбирает отопительное оборудование исходя из потребностей своего региона. В России наибольшую популярность приобрели газовые водогрейные котлы, такие как ВК-21, КСВа-1.0 Гн, КСВ-0,3 Гн, КВ-ГМ, так как подача газа непрерывна и использование газовых автоматизированных котлов более практично. Дешевизна природного газа в совокупности с высоким КПД водогрейных газовых котлов, сделали их более популярными в европейской части. Также газовые автоматизированные котлы очень просты в обслуживании, так как они оборудуются автоматическим газовыми горелками, и автоматикой безопасности.

Среди зарубежных производителей наиболее широкое распространение получили котлы немецкой фирмы Buderus. Линейка котлов данного производителя очень широка, и состоит из ряда паровых и водогрейных котлов разных мощностей. В настоящее время промышленные водогрейные котлы Buderus Logano S825L/S825M поставляются под брендом BOSCH и работают на газе или дизельном топливе мощностью от 650 до 19200 кВт [55].

Сравнение с отечественным производителем приведем на примере котельного оборудования серии BOSCH Unimat UT-L/UT-M в таблице 3.1, [54], [55].

Таблица 3.1 – Сравнение котла ВК-21 и BOSCH Unimat UT-L/UT-M

Параметр	ВК-21	BOSCH Unimat UT-L
Теплопроизводительность котла, кВт	2000	2000
К.П.Д. котла, %	93	95
Максимальная температура воды на выходе, °С	115	110
Минимальная температура воды на входе, °С	70	50
Температура уходящих	не менее 160	не менее 160

газов, °С		
Тип горелочного устройства	ГГС-Б-2,2	Хорошо сочетаются с горелочными устройствами многих производителей
Топливо	Жидкое топливо, газ	Жидкое топливо, газ
Размеры котла, м	4,4x2,0x2,6	4,6x1,7x2,6
Стоимость тыс.руб.	1404	1700

Коэффициент полезного действия котла ВК-21 составляет 93 %, что ниже, чем у котла Bosch Unimat UT-L, равный 95%. Цена котлоагрегата ВК-21 – 1404 тыс. руб. [54].

Проанализировав технические характеристики сравниваемых котлоагрегатов, сделаем вывод, что данные котельные агрегаты имеют схожие технические характеристики.

Кроме всего прочего, отечественный котел ВК-21 гораздо дешевле зарубежного аналога, как в цене, так и в техническом обслуживании.

После проведенного анализа рынка котлоагрегатов, принято решение использовать отечественный водогрейный котел ВК-21.

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		18

#### 4 ТЕПЛОВОЙ ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ КОТЛА ВК-21

Водогрейные котлы ВК-21 предназначены для отопления и горячего водоснабжения жилых зданий, административных, либо производственных строений, включая заводские цеха, подсобные помещения, хозяйственные постройки. Также водогрейные котлы ВК-21 могут эффективно использоваться в системах вентиляции перечисленных выше объектов.

Котлы ВК-21 применяются в отопительных системах с абсолютным давлением воды не выше 0,7МПа и максимальной температурой нагрева воды 115.

Водогрейный стальной котел ВК-21 является высококлассным котельным оборудованием, отвечающим самым строгим стандартам качества и прекрасно подходит для эксплуатации во всем спектре российских климатических условий.

Котельная часть состоит из корпуса, передней водоохлаждаемой крышки, короба для отвода дымовых газов, опор, рамы, теплоизоляции и декоративного кожуха.

Корпус котла – цилиндрической формы, включает в себя топочную камеру, переднюю и заднюю трубные доски, конвективный газоход и наружную обечайку.

Топочная камера – цилиндрическая, выполнена в виде жаровой трубы с приваренным плоским днищем.

Жаровая труба передней кромкой приварена к передней трубной доске, а днище жаровой трубы связано с задней трубной доской 24-мя анкерными стержнями.

Днище жаровой трубы и задняя трубная доска образуют пластичную систему, компенсирующую температурные удлинения жаровой трубы.

Конвективный газоход котла образован из 152-дымогарных трубок, расположенных на 3-х концентрических окружностях. Трубы сгруппированы в 4 пучка и вварены в трубные доски. Между пучками дымогарных труб для осмотра и очистки котла, по водяной стороне, оставлены промежутки. В качестве дымогарных труб используются цельнотянутые трубы. На трубу накатаны кольцевые канавки, интенсифицирующие теплопередачу [54].

Наружная обечайка выполнена из листовой стали. На наружной обечайке размещены:

- 1) подводящий патрубок обратной воды;
- 2) отводящий патрубок прямой воды;
- 3) трубопровод, соединяющий переднюю крышку и корпус с компенсатором и отводом для слива воды из котла;
- 4) отводящий патрубок водоохлаждаемой крышки с воздушником и компенсатором;
- 5) 4 лючка по водяной стороне для осмотра и чистки котла от шлама;

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		19

б) кронштейны с откидными болтами для крепления передней водоохлаждаемой крышки;

7) взрывной клапан.

Технические характеристики котла ВК-21 представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Технические характеристики котла ВК-21

Наименование	Единицы измерения	Примечание
1	2	3
Марка котла	-	ВК-21
Количество котлов	-	4
Теплопроизводительность котла	МВт (Гкал/ч)	2,0 (1,724)
К.П.Д. котла, не менее	%	90
Максимальная температура воды на выходе	°Ñ	95
Минимальная температура воды на входе	°Ñ	70
Номинальный расход воды	$\frac{\dot{V}^3}{\div}$	276,0
Минимальный расход воды	$\frac{\dot{V}^3}{\div}$	36,0
Температура уходящих газов	°Ñ	200
Расход газа на один котёл	$\frac{\dot{V}^3}{\div}$	237,0
Тип горелочного устройства	-	ГГС-Б-2,2
Мощность электродвигателя	кВт	4,4
Коэффициент избытка воздуха на выходе из котла	-	1,05
Размеры котла	мм	4200×1900×2600
Масса котлоагрегата (с обмуровкой)	кг	5400,0

#### 4.1 Расчет теоретического и действительного объёмов воздуха и продуктов сгорания

В качестве основного вида топлива на исследуемой котельной используется природный газ.

Характеристику природного газа, поступающего в г. Коркино принимаем по данным ПАО «Газпром».

Плотность топлива при нормальных условиях:  $\rho_t = 0,73 \text{ г/л}^3$ ;

Состав природного газа в % по объему, приводим в таблице 4.2 [17].

Таблица 4.2 – Состав природного газа в % по объему

Метан CH <sub>4</sub>	Этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Пентан C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Азот N <sub>2</sub>	Диоксид углерода CO <sub>2</sub>	Кислород O <sub>2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
97,786	0,978	0,277	0,092	0,012	0,800	0,038	0,008

В процессе теплового расчета водогрейного котла определяются теоретический и действительный объем воздуха, а так же продуктов сгорания.

Теоретический объем воздуха, который необходим для сгорания топлива в процессе сжигания газа при определяется по формуле (4.1):

$$V^o = 0,0476 \cdot \left[ 0,5 \cdot \sum \dot{N}_i + 0,5 \cdot \sum \dot{I}_2 + 1,5 \cdot \dot{H}_2S + \sum \left( m + \frac{n}{4} \right) \cdot C_m H_n - O_2 \right], \quad (4.1)$$

где  $n$  – число атомов водорода;

$m$  – число атомов углерода,

$$V^o = 0,0476 \cdot \left[ 0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot 0 + 1,5 \cdot 0 + \left( 1 + \frac{4}{4} \right) \cdot 97,785 + \left( 2 + \frac{6}{4} \right) \cdot 0,979 + \right. \\ \left. + \left( 3 + \frac{8}{4} \right) \cdot 0,278 + \left( 4 + \frac{10}{4} \right) \cdot 0,091 + \left( 5 + \frac{12}{4} \right) \cdot 0,011 - 0,013 \right] = 9,571 \frac{\text{л}^3}{\text{л}^3}.$$

Теоретический объем водяного пара (4.2):

$$V_{H_2O}^o = 0,01 \cdot \left[ H_2S + H_2 + \sum \frac{n}{2} \cdot C_m H_n + 0,124 \cdot d_{\dot{a}, \dot{\delta}, \dot{e}} \right] + 0,0161 \cdot V^o, \quad (4.2)$$

где  $d_{\dot{a}, \dot{\delta}, \dot{e}}$  – влагосодержание в газообразном топливе, отнесенное к  $1 \text{ м}^3$  сухого газа,  $\text{г/м}^3$ ; принимается  $d_{\dot{a}, \dot{\delta}, \dot{e}} = 10 \text{ г/м}^3$  [44],

$$V_{H_2O}^o = 0,01 \cdot \left[ 0 + 0 + \frac{4}{2} \cdot 97,785 + \frac{6}{2} \cdot 0,979 + \frac{8}{2} \cdot 0,278 + \frac{10}{2} \cdot 0,091 + (*) \right]$$

$$(*) = + \frac{12}{2} \cdot 0,011 + 0,124 \cdot 10 \left] + 0,0161 \cdot 9,571 = 2,168 \frac{\text{л}^3}{\text{л}^3}.$$

Теоретический объем содержания азота в продуктах сгорания (4.3):

$$V_{N_2}^o = 0,79 \cdot V^o + \frac{N_2}{100}, \quad (4.3)$$

$$V_{N_2}^o = 0,79 \cdot 9,571 + \frac{0,81}{100} = 7,569 \frac{\text{л}^3}{\text{л}^3}.$$

Теоретический объем содержания трехатомных газов в прод. сгорания (4.4):

$$V_{RO_2}^o = 0,01 \cdot [\tilde{N}O_2 + CO + H_2S + \sum m \cdot C_m H_n], \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} V_{RO_2}^o &= 0,01 \cdot [0,038 + 0 + 0 + 1 \cdot 97,785 + 2 \cdot 0,979 + 3 \cdot 0,278 + 4 \cdot 0,091 + 5 \cdot 0,012] = \\ &= 1,01 \frac{\text{л}^3}{\text{л}^3}. \end{aligned}$$

Общий теоретический объем продуктов сгорания (4.5):

$$V_{\tilde{a}}^i = V_{RO_2}^o + V_{N_2}^o + V_{H_2O}^o, \quad (4.5)$$

Найдём общий теоретический объем продуктов сгорания по формуле (4.5):

$$V_{\tilde{a}}^o = 1,01 + 7,569 + 2,168 = 10,747 \frac{\text{л}^3}{\text{л}^3}.$$

Действительный объем продуктов сгорания рассчитывается с учетом коэффициента избытка воздуха в топке  $\alpha_{\tilde{o}}$ , а так же объема присосов воздуха по газоходам котельных агрегатов.

Величина коэффициента избытка воздуха на выходе из топки принимается для камерной топки при сжигании газа - 1,05 [44].

Значение действительного суммарного объема продуктов сгорания природного газа определяется (для среднего коэффициента избытка воздуха в газоходе котла для поверхности нагрева) с помощью формулы (4.6):

$$V_{\tilde{a}} = V_{RO_2}^i + V_{N_2}^o + (\alpha_{\tilde{n}\delta} - 1) \cdot V^o + V_{H_2O}^o + 0,0161 \cdot (\alpha_{\tilde{n}\delta} - 1) \cdot V^o, \quad (4.6)$$

Нахождение величины действительного объема продуктов сгорания и его состава по газоходам приведем на примере топки.

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		22

Найдём средний коэффициент избытка воздушной смеси в газоходе по формуле (4.7):

$$\alpha_{\bar{n}\delta} = \frac{\alpha' + \alpha''}{2}, \quad (4.7)$$

где  $\alpha''$  – коэффициент избытка воздуха после поверхности нагрева,

$$\alpha_{\bar{n}\delta} = \frac{1,05 + 1,05}{2} = 1,05.$$

По формуле (4.8) найдём избыточное количество воздушной смеси:

$$V_{\text{эцá}}^{\hat{a}} = V^o \cdot (\alpha_{cp} - 1), \quad (4.8)$$

$$V_{\text{эцá}}^{\hat{a}} = 9,571 \cdot (1,05 - 1) = 0,479 \frac{\text{л}^3}{\text{л}^3}.$$

Объем водяного пара (4.9):

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^o + 0,0161 \cdot (\alpha_{\bar{n}\delta} - 1) \cdot V^o, \quad (4.9)$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 2,168 + 0,0161 \cdot (1,05 - 1) \cdot 9,571 = 2,175 \frac{\text{л}^3}{\text{л}^3}.$$

Значение действительного суммарного объема продуктов сгорания (4.6):

$$V_{\bar{a}} = 1,01 + 7,569 + (1,05 - 1) \cdot 9,571 + 2,168 + 0,0161 \cdot (1,05 - 1) \cdot 9,571 = 11,23 \frac{\text{л}^3}{\text{л}^3}.$$

Объёмная доля трёхатомных газов (4.10):

$$r_{\text{RO}_2} = \frac{V_{\text{RO}_2}}{V_{\bar{a}}}, \quad (4.10)$$

$$r_{\text{RO}_2} = \frac{1,01}{11,23} = 0,089.$$

Объёмная доля водяного пара (4.11):

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_{\bar{a}}}, \quad (4.11)$$

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		23

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{2,175}{11,23} = 0,194.$$

Суммарная объёмная доля трёхатомных газов и водяного пара (4.12):

$$r_n = r_{\text{H}_2\text{O}} + r_{\text{RO}_2}, \quad (4.12)$$

$$r_n = 0,194 + 0,089 = 0,283.$$

Полученные данные сведём в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Полученные данные

Характеристика	Аналитическое выражение формулы	Единицы измерения	Топка	Конвективный пучок
1	2	3	4	5
Средний коэффициент избытка воздушной смеси в газоходе	$\alpha_{\bar{n}\delta} = \frac{\alpha' + \alpha''}{2}$	–	1,050	1,050
Избыточное количество воздушной смеси	$V_{\text{эца}}^{\hat{a}} = V^o \cdot (\alpha_{\text{cp}} - 1)$	$\frac{\text{л}^3}{\text{л}^3}$	0,479	0,479
Объём водяного пара	$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^o + 0,0161 \times (\alpha_{\bar{n}\delta} - 1) \cdot V^o$	$\frac{\text{л}^3}{\text{л}^3}$	2,175	2,175
Объёмная доля трёхатомных газов	$r_{\text{RO}_2} = \frac{V_{\text{RO}_2}}{V_{\hat{a}}}$	–	0,079	0,079
Объёмная доля водяного пара	$r_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_{\hat{a}}}$	–	0,194	0,194
Суммарная объёмная доля	$r_n = r_{\text{H}_2\text{O}} + r_{\text{RO}_2}$	–	0,284	0,284

#### 4.2 Расчёт энтальпий воздуха и продуктов сгорания

Энтальпия теоретических объемов воздуха для выбранного диапазона температур вычисляют по формуле (4.13):

$$I_{\hat{a}}^i = V^o \cdot (ct)_{\hat{a}}, \quad (4.13)$$



где  $(ct)_{\hat{a}}$  – энтальпия  $1\text{ м}^3$  воздуха.

Энтальпия теоретического объема продуктов сгорания (4.14):

$$I_{\hat{a}}^i = V_{\text{RO}_2} \cdot (ct)_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2}^o \cdot (ct)_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}^o \cdot (ct)_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (4.14)$$

где  $(ct)_{\text{RO}_2}, (ct)_{\text{N}_2}, (ct)_{\text{H}_2\text{O}}$  – энтальпия  $1\text{ м}^3$  трехатомного газа, объема азота и водяного пара.

Энтальпия избыточного воздуха для всего диапазона температур определяется по формуле (4.15):

$$I_{\hat{a}}^o = (\alpha - 1) \cdot I_{\hat{a}}^i. \quad (4.15)$$

Энтальпия продуктов сгорания, соответствующая коэффициенту избытка воздуха  $\alpha \geq 1$ , определяется по формуле (4.16):

$$I = I_{\hat{a}}^i + I_{\hat{a}}^o + I_{\zeta\ddot{e}}, \quad (4.16)$$

Результаты расчетов энтальпий теоретического объема воздуха и продуктов сгорания топлива приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты расчетов энтальпий теоретического объема воздуха и продуктов сгорания топлива

Температура, °C	$V^o = 9,571 \text{ м}^3$	$V_{\text{RO}_2} = 1,01 \text{ м}^3$	$V_{\text{N}_2}^o = 7,569 \text{ м}^3$	$V_{\text{H}_2\text{O}}^o = 2,168 \text{ м}^3$	$I_{\hat{a}}^i = V_{\text{RO}_2} \cdot (ct)_{\text{RO}_2} +$ $+ V_{\text{N}_2}^o \cdot (ct)_{\text{N}_2} +$ $+ V_{\text{H}_2\text{O}}^o \cdot (ct)_{\text{H}_2\text{O}}$
	$I_{\hat{a}}^i = V^o \cdot (ct)_{\hat{a}}$	$I_{\text{RO}_2} = V_{\text{RO}_2} \cdot (ct)_{\text{RO}_2}$	$I_{\text{N}_2}^o = V_{\text{N}_2}^o \cdot (ct)_{\text{N}_2}$	$I_{\text{H}_2\text{O}}^o = V_{\text{H}_2\text{O}}^o \cdot (ct)_{\text{H}_2\text{O}}$	
1	2	3	4	5	6
30	373,27	–	–	–	–

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6
100	1263,37	170,690	983,97	327,368	1482,028
200	2545,89	360,570	1967,94	659,072	2987,582
300	3857,11	564,590	2967,05	1003,784	4535,422
400	5187,48	779,720	3988,86	1357,168	6125,751

500	6546,56	1005,960	5025,82	1721,392	7753,168
600	7943,93	1234,220	6085,48	2096,456	9416,152
700	9370,01	1475,610	7160,27	2486,696	11122,580
800	10815,23	1723,060	8272,92	2894,280	12890,257
900	12260,45	1970,510	9408,27	3304,032	14682,809
1000	13743,96	2224,020	10551,19	3739,800	16515,006
1100	15265,75	2481,570	11694,11	4175,568	18351,243
1200	16787,53	2744,170	12829,46	4620,008	20193,633
1400	19869,40	3272,400	15206,12	5545,744	24024,265
1600	22999,11	3804,670	17582,79	6506,168	27893,625
1800	26119,26	4346,030	19997,30	7496,944	31840,272
2000	29325,54	4891,430	22434,52	8511,568	35837,514
2200	32531,83	5440,870	24902,01	9537,032	39879,912

Результаты расчетов энтальпий продуктов сгорания в газоходе приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Результаты расчетов энтальпий продуктов сгорания в газоходе

$t, ^\circ\text{C}$	$I_g^0$	$I_z^0$	Участки газового тракта			
			Топка		Конвективная часть	
			$I$	$\Delta I$	$I$	$\Delta I$
1	2	3	4	5	6	7
100	1263,37	1482,028	–	–	1545,2	1569,7
200	2545,89	2987,582	–	–	3114,9	1613,4
300	3857,11	4535,422	–	–	4728,3	1656,8

Продолжение таблицы 4.5

1	2	3	4	5	6	7
400	5187,48	6125,751	–	–	6385,1	1695,4
500	6546,56	7753,168	–	–	8080,5	–
600	7943,93	9416,152	9813,3	1777,7	–	–
700	9370,01	11122,580	11591,1	1839,9	–	–

800	10815,23	12890,257	13431,0	1864,8	–	–
900	12260,45	14682,809	15295,8	1906,4	–	–
1000	13743,96	16515,006	17202,2	1912,3	–	–
1100	15265,75	18351,243	19114,5	1918,5	–	–
1200	16787,53	20193,633	21033,0	3984,7	–	–
1400	19869,40	24024,265	25017,7	4025,8	–	–
1600	22999,11	27893,625	29043,6	4102,7	–	–
1800	26119,26	31840,272	33146,2	4157,6	–	–
2000	29325,54	35837,514	37303,8	4202,7	–	–
2200	32531,83	39879,912	41506,5	–	–	–

### 4.3 Тепловой баланс котельного агрегата

Тепловой баланс парогенератора выражает количественное соотношение между поступившей в агрегат теплотой, называемой располагаемой теплотой топлива  $Q_p^p$ , и суммой полезно использованной теплоты  $Q_1$  и тепловых потерь  $Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6$ .

Располагаемую теплоту, отнесённую к  $1\text{ м}^3$  газообразного топлива определяют по формуле (4.17):

$$Q_p^p = Q_i^{\tilde{n}}. \quad (4.17)$$

Располагаемая теплота для котла ВК-21 составит (4.17):

$$Q_i^c = 33472 \frac{\hat{\text{Ä}}}{\text{i}^3}.$$

Общее уравнение теплового баланса (4.18):

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6. \quad (4.18)$$

Тепловой баланс котельного агрегата формируется применительно к установленному тепловому режиму, при этом потеря теплоты выражается в процентах располагаемой теплоты (4.19):

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_p^p}. \quad (4.19)$$

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		27

Разделив данное уравнение на  $Q_p^p$  получаем его в нижепредставленном виде (4.20):

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + \sum q_6, \quad (4.20)$$

где  $q_1$  – полезная использованная в котельном агрегате теплота;

$q_2$  – потери теплоты с уходящим газом;

$q_3$  – потери теплоты от химической неполноты сгорания газа;

$q_4$  – потери теплоты от механической неполноты сгорания газа;

$q_5$  – потери теплоты от наружного охлаждения;

$\sum q_6 = q_{6\phi\ddot{e}.} + q_{6i\ddot{o}\ddot{e}.}$  – потери от физической теплоты, которая содержится в удаляемом шлаке и от потерь от охлаждения панелей;

КПД котельного агрегата рассчитывается с помощью уравнения обратного баланса (4.21):

$$\eta_{\ddot{o}\ddot{d}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6). \quad (4.21)$$

Потери теплоты с уходящими газами  $q_2$  определяются по формуле (4.22):

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_p^p} \cdot 100 = \frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} \cdot I_{\ddot{o}\ddot{a}}^i) \cdot (100 - q_4)}{Q_p^p}, \quad (4.22)$$

где  $I_{yx}$  – энтальпия уходящих газов при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha_{\ddot{o}\ddot{d}}$ , определяем по таблице 4.5;

$I_{\ddot{o}\ddot{a}}^o$  – энтальпия теоретического объема холодного воздуха. Данная величина определяется по таблице 4.4.

$$q_2 = \frac{(2535,9 - 1,05 \cdot 373,27) \cdot (100 - 0)}{33472} = 6,4 \%$$

Потери теплоты из-за химического недожога  $q_3$  для применяемого топлива – природного газа – равны 0,1 % [44].

Потери теплоты из-за механического недожога принимаем  $q_4 = 0$  [44].

Потеря теплоты из-за наружного охлаждения  $q_5$  (4.23):

$$q_5 = q_{5\ddot{i}\ddot{i}} \cdot \frac{N_{\ddot{i}\ddot{i}}}{N}, \quad (4.23)$$

где  $q_{5\hat{m}\hat{i}}$  – потеря теплоты из-за наружного охлаждения при номинальной нагрузке, для котла ВК-21  $q_{5\hat{m}\hat{i}} = 3 \%$  [44];

$N_{\hat{m}\hat{i}}$  – номинальная нагрузка котла, равная 2 МВт [54];

$N$  – расчётная нагрузка котла, которая рассчитывается по формуле (4.24):

$$N = G_{\hat{a}} \cdot \tilde{N}_{\hat{a}} \cdot (t_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}} - t_{\hat{a}\hat{o}}), \quad (4.24)$$

где  $G_{\hat{a}}$  – расход воды, равный  $17,75 \frac{\hat{e}\tilde{\hat{a}}}{\hat{n}}$ ,

$$N = 17,75 \cdot 4,19 \cdot 25 = 1,86 \text{ МВт.}$$

Найдём потерю теплоты из-за наружного охлаждения по формуле (4.23):

$$q_5 = 3 \cdot \frac{2}{1,86} = 3,2 \%$$

Рассчитаем значение коэффициента полезного действия котла (4.21):

$$\eta_{\hat{a}\hat{o}} = 100 - (6,4 + 0,1 + 3,2) = 90,3 \%$$

Суммарная потеря тепла в котле определяется по формуле (4.25):

$$\sum q = q_2 + q_3 + q_5, \quad (4.25)$$

$$\sum q = 6,4 + 0,1 + 3,2 = 9,7 \%$$

Для дальнейших расчетов определяется коэффициент сохранения теплоты (4.26):

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_{\hat{e}\hat{a}} - q_5}, \quad (4.26)$$

$$\varphi = 1 - \frac{3,2}{90,3 - 3,2} = 0,96.$$

Величина полного количества теплоты, которая полезно отдаётся в котлоагрегате, определяется по формуле (4.27):

$$Q_{\hat{e}\hat{a}} = G_{\hat{a}} \cdot (i_{\hat{a}\hat{a}} - i_{\hat{o}\hat{a}}), \quad (4.27)$$

где  $G_{\hat{a}}$  – расход воды, для котла ВК-21 равен  $17,75 \frac{\hat{e}\tilde{\hat{a}}}{\hat{n}}$ ;

$i_{\hat{a}\hat{a}}$  – энтальпия выходной горячей воды (95°C), кДж/кг;

$i_{\hat{o}\hat{a}}$  – энтальпия входной холодной воды (70°C), кДж/кг;

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		29

$$Q_{\hat{e}a} = 17,75 \cdot (398,00 - 293,03) = 1863,2 \hat{e}A\hat{o}.$$

Расход топлива, которое подается в топку котлоагрегата (4.29):

$$B = \frac{Q_{\hat{e}a}}{Q_{\hat{o}}^{\hat{o}} \cdot \eta_{\hat{e}a}}, \quad (4.28)$$

$$B = \frac{1863,2}{9,3 \cdot 0,903} = 221,9 \frac{\text{т}}{\text{ч}}.$$

#### 4.4 Тепловой расчёт топочной камеры

Поверочный расчет топочной камеры котлоагрегата производится по средствам определения значения действительной температуры дымовых газов на выходе топочной камеры котельного агрегата. С помощью выражения (4.29):

$$O_{\hat{o}}'' = \frac{T_a}{M \left( \frac{5,67 \cdot \psi_{\hat{n}\hat{o}} \cdot F_{\hat{n}\hat{o}} \cdot \alpha_{\hat{o}} \cdot O_a^3}{10^{11} \cdot \varphi \cdot \hat{A}_{\hat{o}} \cdot V_{Ccp}} \right)^{0,6} + 1} - 273, \quad (4.29)$$

где  $T_a$  – значение абсолютной температуры продуктов сгорания, К;

$M$  – параметр, который учитывает распределение температуры по высоте топки;

$\varphi$  – коэффициент сохранности теплоты;

$B_p$  – величина расчетного расхода топлива, м<sup>3</sup>/с;

$F_{\hat{n}\hat{o}}$  – площадь стен топки, м<sup>2</sup>;

$\psi_{\hat{n}\hat{o}}$  – коэффициент тепловой эффективности экрана;

$\alpha_{\hat{o}}$  – величина черноты топки;

$V_{Ccp}$  – суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 м<sup>3</sup> топлива в интервале температуры  $O_a - O_{\hat{o}}''$ , кДж/(кг·К);

$5,67 \cdot 10^{-8}$  – коэффициент излучения для абсолютно черного тела, Вт/(м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>) [44].

С целью определения значений действительной температуры  $O_{\hat{o}}''$ , задаемся ее величиной  $O_m'' = 1100$  °С.

Исходя из принятой температуры газов на выходе топки и адиабатической температуре сгорания топливной массы  $O_a$  определяются тепловые потери.

После этого с помощью известных геометрических характеристик топочной камеры, рассчитывается действительная температура на выходе топки.

Полезное тепловыделение рассчитывается с помощью выражения (4.30):

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		30

$$Q_{\delta} = Q_p \cdot \frac{100 - q_3 - q_4 - q_6}{100 - q_4} + Q_{\dot{a}} + rI_{\dot{a}\dot{\delta}\dot{a}} - Q_{\dot{a}\dot{a}\dot{i}}, \quad (4.30)$$

где  $Q_{\dot{a}}$  – теплота, которая вносится в топку воздухом, для котлов, не имеющих воздухоподогревателей, определяется по выражению (4.31):

$$Q_{\dot{a}} = \alpha_m \cdot I_{\dot{o}\dot{a}}, \quad (4.31)$$

$$Q_{\dot{a}} = 1,05 \cdot 373,27 = 391,9 \text{ кДж/м}^3.$$

где  $Q_{\dot{a}\dot{a}\dot{i}}$  – теплота, которая внесена в котлоагрегат с поступающим воздухом, разогретым вне агрегата – принимается  $Q_{\dot{a}\dot{a}\dot{i}} = 0$ , потому что воздух перед котлом ВК-21 не подогревается;

$rI_{\dot{a}\dot{\delta}\dot{a}}$  – теплота рециркулирующего продукта сгорания – принимается  $rI_{\dot{a}\dot{\delta}\dot{a}} = 0$ , потому что конструкция котла ВК-21 не предусматривает рециркуляции дымовых газов.

Рассчитаем полезное тепловыделение используя формулу (4.30):

$$Q_m = 33472 \cdot \frac{100 - 0,1 - 0 - 0}{100 - 0} + 391,9 + 0 - 0 = 33696,5 \text{ кДж/м}^3$$

Адиабатная (теоретическая)  $O_a$  температура горения определяется исходя из величины полезного тепловыделения в топке:  $Q_{\delta} = I_a$ .

Исходя из таблицы 4.5, при  $I_a = 33696,5 \text{ кДж/м}^3$  определим  $T_a$  (4.32):

$$\dot{O}_a = \theta_a + 273, \quad (4.32)$$

$$T_a = 1826,5 + 273 = 2099,5 \text{ }^{\circ}\text{N}.$$

Определим параметр  $M$ , в зависимости от положения максимальной температуры пламени по высоте топки ( $x_{\delta}$ ) при сжигании газов по формуле (4.33):

$$M = 0,54 - 0,2 \cdot \delta_{\delta}, \quad (4.33)$$

где  $x_{\delta} = \frac{I_{\dot{a}}}{I_{\delta}}$ ;

$I_{\dot{a}}$  – расстояние от пола топки до оси горелки, м;

$I_m$  – расстояние от пола топки до середины выходного окна топки, м;

Для применяемого котлоагрегата ВК-21, расстояние  $x_m = 0,50$ , используя формулу (4.33):

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		31

$$M = 0,54 - 0,2 \cdot 0,50 = 0,44$$

Значение коэффициента тепловой эффективности экрана определяется по выражению (4.34):

$$\varphi = x \cdot \xi, \quad (4.34)$$

где  $\xi$  – коэффициент, который учитывает снижение тепловосприятия экрана из-за загрязненности либо закрытия изоляцией поверхности; принимается  $\xi = 0,65$  [44];

$x$  – коэффициент экранирования; определяется по номограмме [44], при  $S = 64$  мм,  $d = 60$  мм,  $S/d = 64/60 = 1,07$ , тогда  $x = 0,98$ ,

$$\varphi = 0,98 \cdot 0,65 = 0,64$$

Определим эффективную толщину излучающего слоя топки (4.35):

$$S = 3,6 \cdot \frac{V_{\delta}}{F_{\bar{n}\delta}}, \quad (4.35)$$

где  $V_{\delta}$ ,  $F_{cm}$  – соответственно, объем и поверхность стен топочной камеры, м<sup>3</sup> и м<sup>2</sup>.  $V_m = 1,8$  м<sup>3</sup>,  $F_{cm} = 8,2$  м<sup>2</sup> [54];

Для определения эффективной толщины используем формулу (4.35):

$$S = 3,6 \cdot \frac{1,8}{8,2} = 0,79 \text{ м.}$$

Величина коэффициента ослабления лучей для пламени формируется из коэффициента ослабления трехатомными газами ( $k_r$ ) и сажистыми частицами ( $k_c$ ). При сжигании газа данный коэффициент определяется по выражению (4.36):

$$k = k_r \cdot r_i + k_c, \quad (4.36)$$

Объемная доля трехатомных газов, определяется из таблицы 4.2, (4.37).

$$r_n = r_{\text{RO}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (4.37)$$

$$r_n = 0,079 + 0,194 = 0,273$$

Значение коэффициента ослабления лучей трехатомными газами  $k_r$  рассчитывается с помощью формулы (4.38):

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		32



$$k_r = \left( \frac{7,8 + 16r_{\text{H}_2\text{O}}}{3,16\sqrt{p_i \cdot S}} - 1 \right) \cdot \left( 1 - 0,37 \cdot \frac{\dot{O}_\delta''}{1000} \right), \quad (4.38)$$

где  $p_n$  – парциальное давление для трехатомного газа (4.39):

$$p_i = r_\delta \cdot \delta, \quad (4.39)$$

где  $p$  – давление в топочной камере котельного агрегата, который работает без продувки:  $p = 0,1$  МПа [54],

$$p_n = 0,272 \cdot 0,1 = 0,0272 \text{ МПа},$$

где  $\dot{O}_\delta''$  – величина абсолютной температуры газов на выходе (4.40):

$$\begin{aligned} T_m'' &= O_m'' + 273, \\ T_m'' &= 1100 + 273 = 1373 \text{ К}, \end{aligned} \quad (4.40)$$

$$k_r = \left( \frac{7,8 + 16 \cdot 0,194}{3,16 \cdot \sqrt{0,0272 \cdot 0,79}} - 1 \right) \cdot \left( 1 - 0,37 \cdot \frac{1373}{1000} \right) = 10,33 \frac{1}{\text{г} \cdot \text{м}^2}$$

Значение коэффициента ослабления лучей из-за наличия сажистых частиц определяется по формуле (4.41):

$$k_c = 0,3 \cdot (2 - \alpha_\delta) \cdot \left( 1,6 \frac{\dot{O}_\delta''}{1000} - 0,5 \right) \cdot \frac{\tilde{N}_\delta}{\dot{I}_\delta}, \quad (4.41)$$

Соотношение содержания углерода и водорода в общей массе топлива: для используемого газового топлива принимаем (4.42):

$$\frac{C^p}{H^p} = 0,12 \cdot \sum \frac{m}{n} \cdot C_m \cdot H_n, \quad (4.42)$$

$$\frac{C_p}{H_p} = 0,12 \cdot \left( \frac{1}{4} \cdot 97,785 + \frac{2}{6} \cdot 0,979 + \frac{3}{8} \cdot 0,278 + \frac{4}{10} \cdot 0,091 + \frac{5}{12} \cdot 0,011 \right) = 2,99$$

Значение коэффициента ослабления лучей из-за наличия сажистых частиц (4.41):

$$k_c = 0,3 \cdot (2 - 1,05) \cdot \left( 1,6 \cdot \frac{1373}{1000} - 0,5 \right) \cdot 2,99 = 1,44 (\text{г} \cdot \text{м}^2)^{-1}.$$

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		33

Величина коэффициента ослабления лучей (4.36):

$$k = 10,33 \cdot 0,273 + 1,44 = 4,26 \text{ (м}^{-1}\text{)}^{-1}.$$

Значение черноты факела ( $a_{\delta}$ ) для газообразного топлива рассчитывается, используя выражение (4.43):

$$a_{\delta} = m \cdot a_{\bar{n}\hat{a}} + (1 - m) \cdot a_r, \quad (4.43)$$

где  $a_{\bar{n}\hat{a}}$  – значение черноты части факела, рассчитаем по выражению (4.44):

$$a_{\bar{n}\hat{a}} = 1 - e^{-(k_r \cdot r_i + k_{\bar{n}})ps}. \quad (4.44)$$

$a_r$  – значение черноты несветящихся трехатомными газами, определяем по выражению (4.45):

$$a_r = 1 - e^{-k_r \cdot r_i \cdot ps}. \quad (4.45)$$

$m$  – коэффициент, который характеризует долю топочного объема, заполненного светящейся частью факела.

Определим удельную нагрузку, соответствующую топочному объему (4.46):

$$q_v = \frac{B_p \cdot Q_i^{\delta}}{V_m}, \quad (4.46)$$

$$q_v = \frac{0,06 \cdot 33472}{1,8} = 1146,2 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}.$$

Тогда, принимаем  $m = 0,6$ , используя формулы (4.43), (4.44), (4.45) [54]:

$$a_{\bar{n}\hat{a}} = 1 - e^{-(10,33 \cdot 0,273 + 1,44) \cdot 0,1 \cdot 0,79} = 0,28.$$

$$a_r = 1 - e^{-10,33 \cdot 0,273 \cdot 0,1 \cdot 0,79} = 0,18$$

$$a_{\delta} = 0,6 \cdot 0,28 + (1 - 0,6) \cdot 0,18 = 0,24$$

Величина черноты в процессе сжигания газа определяется по формуле (4.47):

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		34

$$a_{\delta} = \frac{\dot{a}_{\delta}}{\dot{a}_{\delta} + (1 - \dot{a}_{\delta}) \cdot \psi_{\tilde{n}\delta}}, \quad (4.47)$$

$$a_m = \frac{0,24}{0,24 + (1 - 0,24) \cdot 0,64} = 0,33.$$

Суммарная теплоемкость продуктов сгорания на  $1\text{ м}^3$  топлива (4.48):

$$V_{\tilde{N}\tilde{n}\delta} = \frac{Q_{\delta} - I_{\delta}''}{\dot{O}_{\tilde{a}} - \dot{O}_{\delta}''}, \quad (4.48)$$

$$V_{C_{cp}} = \frac{33696,5 - 19114,5}{2372,5 - 1373} = 14,59 \frac{\hat{\text{e}}\ddot{\text{A}}\text{æ}}{\text{ì}^3 \cdot \hat{\text{E}}}.$$

Определим действительную температуру, используя формулу (4.29):

$$O_m'' = \frac{2099,5}{0,44 \cdot \left( \frac{5,67 \cdot 0,64 \cdot 8,2 \cdot 0,33 \cdot 2099,5^3}{10^{11} \cdot 0,64 \cdot 0,062 \cdot 14,59} \right)^{0,6} + 1} - 273 = 1055 \text{ } ^\circ\tilde{N}.$$

Тепло, переданное излучением в топке найдём по формуле (4.49):

$$Q_{\tilde{e}} = \varphi \cdot (Q_{\delta} - I_{\delta}''), \quad (4.49)$$

$$Q_{\tilde{e}} = 0,96 \cdot (33696,5 - 18253,8) = 14824,9 \text{ кДж/м}^3.$$

#### 4.5 Тепловой расчет конвективного пучка котла

Расчет конвективных поверхностей котельного агрегата производим в нижеприведенной последовательности.

По техническим характеристикам котлоагрегата определим конструктивные характеристики газохода котла:

- значение площади поверхности нагрева конвективного пучка,  $H = 40,4 \text{ } \text{ì}^2$ ;
- наружный диаметр, толщина стенки трубы,  $d = 42 \times 3,5 \text{ } \text{ì}$  [54];

Принимаем предварительную величину температуры продуктов сгорания после газохода:  $O_1'' = 180 \text{ } ^\circ\tilde{N}$ .

Определяем теплоту, которая отдана продуктами сгорания, используя уравнение теплового баланса (4.49):

$$Q_{\tilde{a}} = \varphi \cdot (I' - I''), \quad (4.49)$$

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		35

где  $\varphi = 0,96$  – коэффициент сохранности теплоты [44];

$I'$  – значение энтальпии продуктов сгорания перед поверхностью нагрева, принимается из расчета топочной камеры  $I' = I''_o = 18253,8 \text{ кДж/м}^3$  при  $O''_o = 1055 \text{ }^\circ\text{N}$ ;

$I''$  – значение энтальпии продуктов сгорания после конвективного пучка, принимается из таблицы 4.5 при  $O''_1 = 170 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $I'' = 2475,6 \text{ кДж/м}^3$ ,

$$Q_{\bar{a}} = 0,96 \cdot (18253,8 - 2475,6) = 15144,7 \text{ } \hat{\text{A}}\text{e}\hat{\text{H}}^3.$$

Значение расчетной температуры продуктов сгорания в конвективном газоходе определяется по выражению (4.50):

$$O = \frac{O' + O''}{2}, \quad (4.50)$$

$$O = \frac{1055 + 170}{2} = 612,5 \text{ }^\circ\text{N}.$$

Определим температурный напор (4.51):

$$\Delta t = O - t_k, \quad (4.51)$$

где  $t_k$  – значение температуры охлаждающей среды для исследуемого водогрейного котельного агрегата –  $t_k = 82,5 \text{ }^\circ\text{C}$  (4.51):

$$\Delta t = 612,5 - 82,5 = 530 \text{ }^\circ\text{N}.$$

Посчитаем значение средней скорости продуктов сгорания в поверхности нагрева (4.52):

$$w_{\bar{a}} = \frac{\hat{A}_{\delta} \cdot V_{\bar{a}} \cdot (O + 273)}{F \cdot 273}, \quad (4.52)$$

$$w_{\bar{a}} = \frac{0,06 \cdot 11,23 \cdot (612,5 + 273)}{0,15 \cdot 273} = 14,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Определим величину коэффициента теплоотдачи конвекцией от продуктов сгорания к поверхности нагрева в случае поперечного омывания коридорных пучков, используя следующее выражение (4.53):

$$\alpha_{\hat{\text{e}}} = \alpha_i, \quad (4.53)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент теплоотдачи, определяется с помощью номограммы, [44]:

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		36

$$\alpha_{\hat{e}} = 48 \hat{\Delta} / (\hat{i}^2 \cdot \hat{E}).$$

Далее вычисляется величина черноты газового потока. При этом необходимо вычислить суммарную оптическую толщину (4.54):

$$kps = (k_r \cdot r_n + k_{\hat{e}i} \cdot \mu) \cdot ps, \quad (4.54)$$

где  $S$  – значение толщины излучающего слоя – для гладкотрубных пучков определяется с помощью выражения (4.55):

$$S = d_{\hat{a}i}, \quad (4.55)$$

$$S = 0,042 \hat{i}.$$

где  $\hat{e}_{\hat{e}i}$  – значение коэффициента ослабления лучей золовыми частицами, принимается  $\hat{e}_{\hat{e}i} = 0$  (при сжигании газового топлива) [44];

$\mu$  – концентрация золовых частиц, принимается  $\mu = 0$  [44];

$\hat{\delta}$  – давление в газоходе, принимается для котлов без наддува 0,1 МПа [44];

$\hat{e}_r$  – значение коэффициента ослабления лучей трехатомными газами, определяется с помощью выражения (4.56):

$$k_r = \left( \frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \sqrt{\hat{\delta}_i \cdot S}} - 1 \right) \cdot \left( 1 - 0,37 \frac{\hat{\delta}''}{1000} \right), \quad (4.56)$$

$$k_r = \left( \frac{7,8 + 16 \cdot 0,194}{3,16 \sqrt{0,0272 \cdot 0,042}} - 1 \right) \cdot \left( 1 - 0,37 \cdot \frac{443}{1000} \right) = 84.$$

Суммарная оптическая толщина (4.54):

$$kps = (84 \cdot 0,272 + 0) \cdot 0,1 \cdot 0,042 = 0,095.$$

Определяется величина коэффициента теплоотдачи  $\alpha_{\hat{e}}$  (4.57):

$$\alpha_{\hat{e}} = \alpha_i \cdot \hat{a} \cdot \hat{n}_{\hat{a}}, \quad (4.57)$$

где  $\alpha_i$  – значение коэффициента теплоотдачи, определяется по номограмме [44],

$\hat{a}$  – величина черноты продуктов сгорания, которая определяется с помощью номограммы,  $\hat{a} = 0,1$  [44];

$\hat{n}_{\hat{a}}$  – значение коэффициента, который учитывает температуру стенки, определяется с помощью номограммы [44];

С целью определения  $\alpha_i$  и  $\hat{n}_{\hat{a}}$  рассчитаем температуру стенки по (4.58):

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		37

$$t_c = t + \Delta t, \quad (4.58)$$

где  $t$  – температура окружающей среды,  $t = 85 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$\Delta t$  – при сжигании газа принимается равной,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$$t_c = 85 + 25 = 110 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Получили [44]:

$$\alpha_t = 48 \text{ } \hat{\text{A}}\hat{\text{d}}/(\hat{\text{i}}^2 \cdot \text{K}), \quad \tilde{n}_{\hat{\text{a}}} = 0,98.$$

Величина коэффициента теплоотдачи  $\alpha_{\hat{\text{e}}}$  (4.57):

$$\alpha_{\hat{\text{e}}} = 48 \cdot 0,1 \cdot 0,98 = 4,7 \text{ } \hat{\text{A}}\hat{\text{d}}/(\hat{\text{i}}^2 \cdot \hat{\text{E}}).$$

Рассчитаем значение суммарного коэффициента теплоотдачи от продуктов сгорания относительно поверхности нагрева (4.59):

$$\alpha_1 = \xi \cdot (\alpha_{\hat{\text{e}}} + \alpha_t), \quad (4.59)$$

где  $\xi$  – значение коэффициента использования, который учитывает уменьшение тепловосприятости поверхности нагрева, принимается  $\xi = 0,95$  [44] (4.59):

$$\alpha_1 = 0,95 \cdot (48 + 4,7) = 50,5 \text{ } \hat{\text{A}}\hat{\text{d}}/(\hat{\text{i}}^2 \cdot \hat{\text{E}}).$$

Определяется коэффициент теплопередачи (4.60):

$$k = \psi \cdot \alpha_1, \quad (4.60)$$

где  $\psi$  – значение коэффициента тепловой эффективности:  $\psi = 0,85$  [44],

$$k = 0,85 \cdot 50,5 = 43 \text{ } \hat{\text{A}}\hat{\text{d}}/(\hat{\text{i}}^2 \cdot \hat{\text{E}}).$$

Определяется величина теплоты, которая воспринята поверхностью (4.61):

$$Q_{\hat{\text{o}}} = \frac{k \cdot H \cdot \Delta t}{B_p \cdot 10^3}, \quad (4.61)$$

$$Q_{\hat{\text{o}}} = \frac{43 \cdot 40,4 \cdot 530}{0,06 \cdot 10^3} = 15302,1 \hat{\text{A}}\hat{\text{e}}/\hat{\text{i}}^3.$$

По формуле (4.62) рассчитаем невязку теплового баланса конвективного пучка:

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		38

$$\Delta Q = \frac{Q_a - Q_m}{Q_a} \cdot 100\%, \quad (4.62)$$

$$\Delta Q = \frac{15144,7 - 15302,1}{15144,7} \cdot 100\% = -1,15\%.$$

Невязка теплового баланса конвективного пучка котла не превышает 2%, значит удовлетворяет условиям расчёта.

#### 4.6 Проверка теплового баланса котла

Расчёт теплового баланса котлоагрегата приведён в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Невязка теплового баланса котла

Величина			Ед. изм.	Расчет
Наименование	Обозначение	Расчетная формула или способ определения		
1	2	3	4	5
Тепло, вносимое воздухом в топку	$Q_a$	$I_{\delta a} \cdot \alpha_{\delta}$	$\text{кВт}^3$	$1,05 \cdot 373,27 = 391,9$
Полезное тепловыделение в топке	$Q_{\delta}$	$Q_p^p \cdot \frac{100 - q_3}{100} + Q_a$	$\text{кВт}^3$	$33472 \cdot \frac{100 - 0,1 - 0 - 0}{100 - 0} + 391,9 + 0 - 0 = 33696,5$
Тепло, переданное излучением в топке	$Q_{\lambda}$	$\varphi \cdot (Q_{\delta} - I_{\delta}^{\prime\prime})$	$\text{кВт}^3$	$0,96 \cdot (33696,5 - 18253,8) = 14824,9$
Тепло, воспринятое конвективной поверхностью	$Q_{\delta}$	$\frac{k \cdot H \cdot \Delta t}{B_p \cdot 10^3}$	$\text{кВт}^3$	$\frac{43 \cdot 40,4 \cdot 530}{0,06 \cdot 10^3} = 15302,1$
Расчетная невязка теплового баланса	$\Delta Q$	$Q_p^p \cdot \eta_{\delta a} - (Q_{\delta} + Q_{\delta i})$	$\text{кВт}^3$	$33472 \cdot 0,903 - (14824,9 + 15302,1) = -98$

Невязка	%	$\frac{\Delta Q}{Q_p} \cdot 100\%$	-	$\frac{98}{33472} \cdot 100 = 0,29 \%$
---------	---	------------------------------------	---	--

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		40



## 5 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Российская Федерация, являясь одной из ведущих энергетических держав мира, обладает большими запасами ТЭР как уже открытых, так и потенциальных. В мировых разведанных запасах доля России составляет: нефти – 13 %, природного газа – 36 % и угля – 12 % (по прогнозным запасам до 30 %). Располагая самой протяженной береговой линией, Россия владеет огромными площадями континентального шельфа, высокоэффективными в отношении обнаружения запасов нефти и газа, и здесь уже имеются крупные открытия. На шельф приходится свыше 100 млрд. т. потенциальных ресурсов углеводородов, причем объем углеводородных ресурсов шельфовой зоны, так же как и материковой части России, еще недостаточно исследован. Следует отметить, что нефтяной потенциал недр России, по оценке экспертов, реализован лишь на 1/3, а в газовой – на 1/5 часть.

Российская электроэнергетика – это 600 тепловых, 100 гидравлических, 9 атомных электростанций. Их общая электрическая установленная мощность в 2003 г. составляла 215 млн. кВт, в том числе 22,7 млн. кВт (около 11%) – АЭС; 44,3 млн. кВт (20 %) – ГЭС; 148 млн. кВт (около 69 %) – ТЭС, из которых 8,9 млн. кВт – дизельные, работающие на собственную нагрузку. В энергосистемах Российской Федерации эксплуатируется более 600 тыс. км воздушных и кабельных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше и 2 млн. км напряжением 0,4–20 кВ, свыше 17 тыс. подстанций напряжением 35 кВ с общей трансформаторной мощностью почти 575 млн. кВА. Сети российского акционерного общества энергетики и электрификации «Единая энергетическая система России» включает 39 тыс. км линий электропередачи напряжением 330 кВ и выше и 119 подстанций 330 кВ.

На ТЭС России находится в эксплуатации 250 энергоблоков общей установленной мощностью 71,3 млн. кВт, или 52 % от установленной мощности всех ТЭС, работающих на органическом топливе.

Основой высокого уровня жизни и эффективной экономики страны является рост производства энергоресурсов на душу населения и их рациональное потребление. На данном этапе развития человечества появилась проблема эффективного использования энергии и внедрения энерго и ресурсосберегающих технологий, что позволит свести к минимуму проблемы экологического характера, а также обеспечить рост потребности в энергии и энергоносителях.

Успешное решение проблемы энерго и ресурсосбережения возможно только в том случае, если пересмотреть и модернизировать все этапы индустриального метаболизма. Основными этапами являются: производство энергоносителя, его передача и потребление. Часть проблем можно избежать уже на стадии проектирования энергоэкономичных объектов и оборудования. Особое внимание следует уделить развитию методов и режимов их эксплуатации, а также созданию эффективных инструментов управления энергоресурсами на предприятиях и механизмов стимулирования.

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		41

По разным оценкам это в 2–5 раз выгоднее, чем строительство новых мощностей по производству тепловой и электрической энергии для тех же целей. В ТЭК России производится около трети всей промышленной продукции, формируется более 40 % доходной части бюджета, за счет ТЭК обеспечивается более 40 % доходной части бюджета, более половины всех валютных поступлений в страну [38].

Повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов и создание необходимых условий для перевода экономики страны на энергосберегающий путь развития – одна из приоритетных задач Энергетической стратегии России до 2020 года. По оценкам специалистов, потенциал энергосбережения составляет 40–45 % современного энергопотребления в стране, или 360–430 млн.т.у.т., причем треть этого потенциала экономии имеют отрасли ТЭК, другая треть сосредоточена в энергоемких отраслях промышленности и строительстве, свыше четверти – в жилищно-коммунальном хозяйстве, 6–7 % – на транспорте и 3 % – в сельском хозяйстве. Реализация политики энергосбережения невозможна без четко функционирующей системы управления энергосбережением на федеральном, региональном и муниципальном уровнях. Система управления энергосбережением предполагает наличие четырех базовых блоков:

- 1) создание законодательной базы энергосбережения;
- 2) разработка и реализация федеральных, региональных, муниципальных и отраслевых программ энергосбережения;
- 3) создание фондов энергосбережения для консолидации финансовых средств всех уровней в целях внедрения энергосберегающих проектов;
- 4) создание центров энергосбережения, призванных осуществлять научно-методическое сопровождение и координацию энергосберегающей политики соответствующего уровня.

Законодательство РФ об энергосбережении состоит из Федерального закона от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 13.07.2017) "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации"[3] и принимаемых в соответствии с ним других федеральных законов, иных нормативных правовых актов РФ по вопросам энергосбережения.

Объектом государственного регулирования в области энергосбережения являются отношения, возникающие в процессе деятельности, направленной на:

- эффективное использование энергоресурсов при их добыче;
- производстве, транспортировке, хранении и потреблении;
- осуществление государственного надзора за эффективным использованием энергоресурсов;
- развитие добычи и производства альтернативных видов топлива, способных заменить энергоресурсы более дорогих и дефицитных видов;
- обеспечение точности, достоверности и единства измерения в части учета отпускаемых и потребляемых энергоресурсов;
- создание и использование энергоэффективных технологий, топливо, энергопотребляющего и диагностического оборудования, конструкционных и изоляционных материалов, приборов для учета расхода энергоресурсов и для

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		42

контроля за их использованием, систем автоматического управления энергопотреблением.

Энергосберегающая политика государства основана на следующих принципах:

- приоритет эффективного использования энергоресурсов;
- осуществление государственного надзора за эффективным использованием энергоресурсов;
- обязательность учета юридическими лицами производимых или расходуемых ими энергоресурсов, а также учета физическими лицами получаемых ими энергетических ресурсов;
- включение в государственные стандарты на оборудование, материалы и конструкции, транспортные средства показателей их энергоэффективности;
- сертификация топливо-, энергопотребляющего, энергосберегающего и диагностического оборудования, материалов, конструкций, транспортных средств, а также энергоресурсов;
- сочетание интересов потребителей, поставщиков и производителей энергоресурсов;
- заинтересованность юридических лиц-производителей и поставщиков энергоресурсов в эффективном использовании энергоресурсов [3].

### 5.1 Мероприятия по энергосбережению

Основными направлениями энергосбережения в исследуемой котельных являются [38]:

- Снижение затрат энергетических ресурсов котельной в ходе ее эксплуатации;
- Повышение КПД котельной установки;
- Снижение потерь теплоты.

1. Можно выделить следующие факторы, которые увеличивают расход топлива в котельных [38]:

- физический и моральный износ котельных установок;
- отсутствие или плохая работа систем автоматики;
- несовершенство горелочных устройств;
- отложения на поверхностях нагрева;
- недостаточная теплоизоляция;
- потеря теплоты с утечками теплоносителя;
- неплотности газоходов;
- неоптимальная тепловая схема.

Пути для снижения затрат энергетических ресурсов являются [42]:

- Применение автоматизированных горелок ГГС-Б-2.2, обеспечивающих КПД котлоагрегатов, не ниже 90%.
- Применение частотных приводов и устройств плавного пуска на электродвигателях. Это позволяет снизить расход электроэнергии на 25 - 30 %, а также продлить срок эксплуатации двигателя на 15 %. Применение плавного пуска позволяет защитить оборудование и трубопроводы от гидроударов.

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		43

- Применение современных автоматизированных установок подготовки воды марки ХВО-3 позволяет снизить размер отложений в котлах и трубопроводах, и соответственно улучшить теплосъем и теплопередачу. Данные решения позволяют добиться экономии потребления топлива котлоагрегатами на 5 - 7 %.

- Составление руководств и режимных карт эксплуатации, а также периодический контроль со стороны руководства за их выполнением (5 - 10% от потребляемого топлива).

- Для учета количества тепловой энергии, массы теплоносителя, контроля параметров предусматривается установка счетчика коммерческого учета тепла МЕТРАН-400-В-02.

## 2. Повышение КПД котельных установок [38]:

Анализ тепловых балансов существующих водогрейных котлов показывает, что наибольшие потери теплоты происходят с уходящими дымовыми газами, вследствие чего уменьшается КПД котлов.

- Снижению потерь теплоты с уходящими газами способствуют следующие мероприятия:

- Поддержание оптимального коэффициента избытка воздуха в топке котла;
- Поддержание чистоты внутренней и наружной поверхностей нагрева, что позволяет увеличить коэффициент теплопередачи от дымовых газов к воде;

- Увеличение площадей хвостовых поверхностей нагрева;
- Поддержание в барабане парового котла номинального давления, обеспечивающего расчётную степень охлаждения газов в хвостовых поверхностях нагрева;

- Поддержание расчётной температуры питательной воды;

## 3. При транспортировке теплоносителя по тепловым сетям происходят потери тепла, связанные с [42]:

- Применяемыми теплоизоляционными материалами;
- Состоянием трубопроводов и сроком их эксплуатации;
- Выбором температурного режима и продолжительностью функционирования тепловой сети в течение года;
- Параметрами окружающей среды.

Основным теплоизоляционным материалом в настоящее время для тепловой изоляции трубопроводов и оборудования теплосетей является минеральная вата и изделия из нее.

Минеральная вата представляет собой тонковолокнистый материал, получаемый из расплава горных пород, металлургических шлаков или их смеси. В частности, широкое применение находит базальтовая вата и изделия из нее.

Из минеральной ваты изготавливают путем уплотнения и добавки синтетических или органических (битум) связующих или прошивки синтетическими нитями различные маты, плиты, полуцилиндры, сегменты и шнуры.

Для уменьшения тепловых потерь и обеспечения требований техники безопасности предусмотрена тепловая изоляция поверхностей с температурой выше +45.

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		44

В качестве теплоизоляционного материала используем:

- Для газоходов и дымовых труб принято стекловолокно марки «УРСА»;
- Для трубопроводов – термоизоляция «Термошит» ФР толщиной 13мм;
- Для сливных трубопроводов, расположенных в канале к продувочному колодцу, – шнур теплоизоляционный из минеральной ваты марки 200.

Покрытие по изоляции:

- Рулонный стеклопластик марки РСТ.

Все металлоконструкции и трубопроводы с температурой менее +45 и диаметром 25 мм окрашиваются масляной краской за два раза. Для обеспечения долговечности эксплуатации трубопроводов котельной предусмотрены мероприятия по их антикоррозийной защите до выполнения теплоизоляционных работ. Окраска трубопроводов и нанесение цветных колец с указанием направления среды производить согласно ГОСТ 14202-69 и «Правил устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды» [12].

## **6 АВТОМАТИЗАЦИЯ – ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ЗАЩИТА, АВТОМАТИКА**

Для регулирования и оптимизации функционирования котловых агрегатов технические средства стали применяться еще на начальных этапах автоматизации промышленности и производства. Сегодняшний уровень развития этого направления позволяет значительно повысить рентабельность и надежность котельного оборудования, обеспечить безопасность и интеллектуализацию труда обслуживающего персонала. Задачи и цели Современные системы автоматизации котельных способны гарантировать безаварийную и эффективную эксплуатацию оборудования без непосредственного вмешательства оператора. Функции человека сводятся к онлайн-мониторингу работоспособности и параметров всего комплекса

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		45

устройств. Автоматизация котельных решает следующие задачи: Автоматический запуск и останов котлоагрегатов. Регулирование мощности котлов (управление каскадом) согласно заданным первичным настройкам. Управление подпитывающими насосами, осуществление контроля уровней теплоносителя в рабочем и потребительском контурах. Аварийный останов и включение сигнализирующих устройств, в случае выхода рабочих значений системы за установленные пределы.

Котельное оборудование как объект регулирования является сложной динамической системой со множеством взаимосвязанных входных и выходных параметров. Автоматизация котельных осложняется тем, что в паровых агрегатах очень велики скорости протекания технологических процессов. К основным регулируемым величинам относят: расход и давление теплоносителя (воды или пара); разряжение в топке; уровень в питательном резервуаре; в последние годы повышенные экологические требования предъявляются к качеству приготавливаемой топливной смеси и, как следствие, к температуре и составу продуктов дымоудаления [36].

### **6.1 Автоматизация котельной**

Для автоматизации котлов применен блок управления котлом БУК-МП-01 [55]. Аварийная защита срабатывает в следующих случаях [55]:

1. Давление газа перед горелкой низкое или высокое;
2. Разряжение в топке низкое;
3. Температура воды за котлом высокая;
4. Давление воды за котлом высокое;
5. Давление воды перед котлом низкое;
6. Пламя запальника отсутствует;
7. Основной факел отсутствует;
8. Исчезновение питания.

Блок БУК установлен в непосредственной близости от котла.

Блок управления котлом БУК-МП-01 предназначен для автоматического управления водогрейным котлом, работающим на газообразном топливе низкого и среднего давления. Блок имеет два канала измерения и регулирования – температуры на выходе из котла и разрежения в топке; может работать с различными датчиками и исполнительными механизмами, позволяет осуществлять предпусковую проверку клапанов, управлять исполнительными механизмами вручную, с выносного пульта.

Блок обеспечивает выполнение следующих функций:

- контроль герметичности клапанов;
- автоматический пуск и останов котла в соответствии с выбранным алгоритмом работы;
- автоматическое регулирование мощности горелки по отопительному графику или по заданной температуре теплоносителя;
- снижение температуры теплоносителя в ночное время суток;
- измерение и автоматическое регулирование разрежения в топке;
- автоматический останов котла при повышении температуры воды до заданного верхнего уровня и последующий автоматический пуск при понижении температуры

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		46

до нижнего уровня;

– световую и звуковую сигнализацию и аварийную остановку котла в соответствии с таблицей 6.1 [55].

Таблица 6.1 – Технические данные БУК-МП-01.

Параметр, состояние котла	Надпись у светового индикатора
1	2
<b>1. Рабочая сигнализация</b>	
1.1 Выполняется программа пуска котла	ПУСК
1.2 Идет розжиг пламени запальника и основной горелки	РОЗЖИГ
1.3 Котел в режиме регулирования мощности	РАБОТА
1.4 Выполняется программа остановки котла	ОСТАНОВ
1.5 Аварийная остановка котла	АВАРИЯ
1.6 Заслонка ГАЗ-ВОЗДУХ закрывается (закрыт клапан большого горения)	ГОРЕНИЕ МЕНЬШЕ
1.7 Заслонка ГАЗ-ВОЗДУХ открывается (открывается клапан большого горения)	ГОРЕНИЕ БОЛЬШЕ
<b>2. Предупредительная сигнализация</b>	
2.1 Повышение температуры уходящих дымовых газов	ТЕМПЕРАТУРА ПОВЫШЕНА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ
<b>3. Аварийная защита и сигнализация</b>	

Продолжение таблицы 6.1

1	2
3.2 Не закрыта горелка котла или, при проверке клапанов на герметичность, давление газа упало ниже нормы (ПР-2)	ГОРЕЛКА ОТКРЫТА
3.3 Давление воздуха перед горелкой низкое	ДАВЛЕНИЕ ВОЗДУХА НИЗКОЕ
3.4 Разряжение в топке котла низкое	РАЗРЯЖЕНИЕ В ТОПКЕ НИЗКОЕ
3.5 Не включен или отказал вентилятор	ВЕНТИЛЯТОР НЕ РАБОТАЕТ
3.6 Не включен или отказал дымосос	ДЫМОСОС НЕ РАБОТАЕТ
3.7 Температура воды за котлом высокая	ТЕМПЕРАТУРА ПОВЫШЕНА ВОДЫ
3.8 Давление топлива перед горелкой низкое	ДАВЛЕНИЕ НИЗКОЕ ТОПЛИВА
3.9 Давление топлива перед горелкой высокое	ДАВЛЕНИЕ ВЫСОКОЕ ТОПЛИВА
3.10 Давление воды за котлом низкое	ДАВЛЕНИЕ НИЗКОЕ ВОДЫ
3.11 Давление воды за котлом высокое	ДАВЛЕНИЕ ВЫСОКОЕ ВОДЫ
3.12 Отсутствует пламя запальника или основной горелки	НЕТ ПЛАМЕНИ ЗАПАЛЬНИКА, ОСНОВНОЙ ГОРЕЛКИ

Входные сигналы блока:

Дискретные – состояние внешних изолированных ключей, способных коммутировать ток минимального значения 10 мА при напряжении до 30 В.

С устройства контроля пламени – сигналы от фоторезистора (ФР1-3 150 кОм) о наличии пульсации интенсивности пламени с частотой от 0,5 до 30 Гц или от внешнего фотодатчика (замыканием контактов). В качестве внешнего фотодатчика может использоваться активный фотодатчик нашего предприятия. Устройство имеет цифровой фильтр частоты и индикатор, позволяющий осуществлять контроль при настройке.

Индикация температуры наружного воздуха и температуры воды за котлом – сигнал с термометра сопротивления с НСХ 50 М или 100 М, погрешность измерения температуры не более ± 2 °С во всем диапазоне измерения. Если нет необходимости в измерении температуры наружного воздуха, то датчик можно использовать для измерения температуры воды до котла.

С датчика разрежения – унифицированные токовые сигналы 0 – 5 мА или 4 – 20.

С датчика положения заслонки по газу – встроенный в МЭО блок сигнализации ВСПР-10.

Выходные сигналы блока:

Ток выходных ключей ограничен установкой предохранителя (1,6 А при напряжении до 250 В переменного тока).

Коммутация цепей по регулированию мощности и разрежения осуществляется бесконтактным методом, остальные нагрузки коммутируются контактами реле (Jк = 10 А).

Питание блока:

Питание блока от трехфазной сети 220/380 В ± 20 %, частотой 50 Гц.

Мощность потребления блока не более 30 Вт.

Устройство и принцип работы блока:

Блок управления БУК-МП-01 представляет собой настенный блок сварной конструкции. В состав блока входят три платы: преобразователь напряжения, плата управления с элементами индикации и плата с силовыми ключами. На лицевой панели расположены органы управления. Предохранители размещены внутри блока на кронштейне.

В основу управления программой блока заложен микропроцессор серии MCS51, который по результатам обработки информации от датчиков и органов управления блока формирует сигналы управления для исполнительных механизмов и индикации. Все необходимые сигналы формируются на плате управления.

Питание блока осуществляется от импульсного преобразователя напряжения. В блоке используются следующие напряжения: + 24 В – питание цепей датчиков и выходных реле. Цепь защищена от коротких замыканий предохранителем, расположенным на плате преобразователя. ± 15 В - питание аналоговых измерительных цепей платы управления. Защита от К.З. и перегрузки - электронная. + 5 В – питание микросхем платы управления, защита цепей – электронная. Наличие



напряжения на плате индицируется свечением зеленого светодиода. + 36 В – питание цепей датчика разрежения. Защита от К.З. – электронная. Свечение на плате преобразователя красного светодиода указывает на наличие в цепи короткого замыкания [55].

#### Управление котлом:

Блок имеет шесть кнопок: ПУСК, ОСТАНОВ, КОНТРОЛЬ ИНДИКАЦИИ, УСТАНОВКА, СБРОС ЗВУКА и СБРОС ИНДИКАЦИИ АВАРИИ. Действие и название некоторых из них изменяется в зависимости от состояния работы блока. Кнопка КОНТРОЛЬ ИНДИКАЦИИ позволяет проверить исправность индикации и звукового сигнала. Кнопка СБРОС ЗВУКА выключает звуковой сигнал. При отсутствии звукового сигнала и наличии наружного термодатчика кнопка позволяет включить индикацию температуры наружного воздуха. Эта кнопка также имеет название ВВЕРХ при просмотре списков переменных и их значений и название БОЛЬШЕ при изменении числовых значений и ручной регулировке разрежения. Кнопка СБРОС ИНДИКАЦИИ АВАРИИ в состоянии ожидания позволяет сбросить индикацию после аварийного останова котла. При отсутствии аварий и наличии датчика разрежения кнопка включает индикацию разрежения.

Эта кнопка также имеет название ВНИЗ при просмотре списков и название МЕНЬШЕ при изменении числовых значений и ручной регулировке разрежения. Кнопка УСТАНОВКА, когда нажата, позволяет посмотреть и установить заданную температуру воды. Если к блоку подключен наружный термодатчик и установлен режим работы по температурному графику, заданная температура является вычисляемой величиной и ее можно только посмотреть. Если режим работы по температурному графику не включен или нет наружного датчика, заданную температуру можно изменять. Для этого следует, не отпуская кнопку УСТАНОВКА, нажимать кнопки БОЛЬШЕ и МЕНЬШЕ для изменения числового значения. Работает автоповтор для кнопок БОЛЬШЕ и МЕНЬШЕ, при удержании их в нажатом состоянии более 1 сек. После отпускания кнопки УСТАНОВКА будет включена индикация измеренной температуры воды. Кнопка ПУСК служит для перевода блока из состояния ожидания в режим розжига котла. При условии предварительного задания автоматической проверки герметичности клапанов, при нажатии ПУСК начинается автоматическая проверка герметичности. Кнопка ОСТАНОВ служит для перевода блока из рабочего состояния в состояние останова, после завершения которого, блок перейдет в состояние ожидания. Если кнопка ОСТАНОВ будет нажата после запуска блока, но до подачи топлива в котел, блок перейдет в состояние ожидания, минуя состояние останова. Кнопка ОСТАНОВ в состоянии ожидания служит также для просмотра на индикаторе списка отказов (если они есть). Если отказов несколько, на индикаторе выводится номер первого, после которого ставится точка, как признак продолжения. Нажатие на кнопку ОСТАНОВ приводит к выводу на индикатор номера следующего отказа. После последнего опять выводится первый и так далее, по кругу. При ручной проверке герметичности клапанов кнопка ОСТАНОВ служит для выхода из текущей проверки клапанов. Кнопки ОСТАНОВ и УСТАНОВКА, нажатые вместе, приводят к переходу блока из состояния ожидания в первое состояние ручной проверки клапанов. Для устойчивой работы автоматики и

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		49

уменьшения выбегов МЭО, желательно, для регулирования температуры воды и разрежения использовать механизм с большим временем полного хода (63 сек) [55].

Проектом предусматривается:

- 1) Регулирование температуры воды по температуре наружного воздуха.
- 2) Автоматическая работа подпиточных насосов (рабочий, резервный): включение при снижении давления в обратном трубопроводе до 1,5 кгс/см<sup>2</sup>; отключение при давлении 2 кгс/см<sup>2</sup>.

Световая и звуковая сигнализация срабатывает в следующих случаях:

- 1) Упало давление в трубопроводе обратной сетевой воды;
- 2) Повысилось давление в трубопроводе обратной сетевой воды;
- 3) Нижний аварийный уровень в баке запаса воды.

Приборы сигнализации и регулирования установлены в щите сигнализации ЩСА.

Для коммерческого учета, регистрации расхода, температуры и давления газа в проекте применен контроллер ИМ2300.

Контроллер предусматривает тепломеханический контроль параметров теплоносителя.

Для измерения и коммерческого учета расхода газа в проекте применен счетчик СГ16М-400/1:20 с корректором СПГ741-01. В качестве датчиков давления использован термопреобразователь ТСМ МЕТРАН-203.

Проектом предусматривается прекращение подачи газа (отсечка электромагнитного клапана на вводе в котельную) в следующих случаях:

1. Повышение концентрации метана до опасного уровня – 10% ИКПР;
2. Повышение концентрации оксида углерода до опасного уровня – 5 ПДК СО;
3. Отключение электроэнергии.

Световой и звуковой сигналы оповещают о:

1. Отсечке электромагнитного клапана;
2. Загазованности СН<sub>4</sub>;
3. Загазованности СО.

Сигналы выведены на щит сигнализации ЩСА.

Для местного контроля температуры и давления предусмотрены показывающие приборы.

## 6.2 Контрольно-измерительные приборы

Контрольно-измерительные приборы котельной приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Контрольно-измерительные приборы

Наименование	Примечание
Термометр биметаллический ТБП100/160/Р	0-100
Манометр показывающий МП100МС-0,4 МПа	0,4 МПа
Манометр показывающий МП100МС-1,0 МПа	1,0 МПа
Напоромер показывающий МП63МП-2,5 кПа	2,5 кПа
Теплосчетчик Метран-400-В-02-200/200	-

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		50

Устройство регулирующее РП4-Т-М1	-
Сигнализирующий манометр ДМ2010Сг	0-4 кгс/см <sup>2</sup>
Прессостат КР1 35	0,2-8 кгс/см <sup>2</sup>
Датчик-реле уровня РОС-301	-
Манометр МП4-У	0-6 кгс/см <sup>2</sup>
Напорометр мембранный показывающий НМП-52-М1	-
Дифманометр-перепадомер ДСП-160-М-1-1	0,16 кгс/см <sup>2</sup>

## 7 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

С продуктами сгорания топлива в атмосферу выбрасываются различные вредные вещества, в том числе и отличающиеся сильной токсичностью. Количество некоторых из этих веществ (двуокись серы, соединения ванадия, летучая зола) зависит от состава топлива и его негорючей части. Содержание других вредных веществ в дымовых газах (окислы серы и азота, окись углерода, канцерогены) зависит не только от характеристики сжигаемого топлива, но и от ряда других факторов, включая режимные: способа подготовки и сжигания топлива, конструкции топочных и горелочных устройств, нагрузки котла, коэффициента избытка воздуха и др. Следовательно, выброс этих веществ можно свести к минимуму принятием соответствующих мер.

Степень воздействия энергетического топлива на окружающую среду определяется по шкале вредности. Наименьшее вредное воздействие на окружающую среду из всех топлив оказывает природный газ; вредным продуктом при его сжигании являются окислы азота. Мазут с S=3,5% занимает по шкале девятое место из-за образующихся при его сжигании двуокиси серы и окислов азота.

Токсичными веществами являются сернистый газ и двуокись азота. Одним из сильнейших канцерогенных веществ является бензапирен, оказывающий вредное воздействие на живые организмы, даже при малых его концентрациях в воздухе.

Содержащаяся в топливе сера окисляется в основном до сернистого ангидрида, являющимся очень токсичным. Сернистый газ представляет большую опасность для здоровья человека, а при концентрации в воздухе 0,5 мг/м<sup>3</sup> и выше губительно действует на растительность. Взаимодействуя с почвой, сернистый газ вызывает снижение ее плодородия. Он способствует также ускорению коррозии и разрушению строительных железобетонных конструкций.

При сжигании любого вида топлива возможно образование окислов азота. Окисляется как азот воздуха, так и азот, содержащийся в топливе. Основными определяющимися условиями процесса окисления азота являются температура в зоне горения, концентрация кислорода и время пребывания газов в зоне реагирования. При недостатке кислорода в продуктах неполного сгорания может присутствовать бензапирен. Чем полнее сгорание топлива, тем меньше содержание бензапирена в продуктах сгорания. Главной санитарной инспекцией установлены предельно

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		51

допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в атмосфере на уровне дыхания человека.

С ростом мощности котельных роль их в загрязнении приземного слоя атмосферы становится все значительнее. Кроме того, котельные располагаются, как правило, в промышленных районах, фоновая концентрация вредных веществ нередко близка к предельно допустимой.

Поэтому задача снижения выбросов котельных является актуальной.

Эксплуатация котельной неизбежно повлечет за собой загрязнение атмосферы продуктами сгорания топлива, используемого в установленных котлоагрегатах.

В исследуемой котельной источниками загрязнения атмосферы являются продукты сгорания природного газа.

При сжигании природного газа в котлах основными вредными выбросами являются оксиды азота и оксид углерода.

Суммацией вредного воздействия обладают:

- диоксид азота и диоксид серы;
- диоксид азота, оксид азота, пятиокись ванадия и диоксид серы;
- диоксид серы, окись углерода, диоксид азота и фенол (фенол входит в состав фоновых концентраций);
- диоксид серы и фенол.

Залповые и аварийные выбросы указанных загрязняющих веществ, образующихся при сжигании топлива в котлах невозможны.

Современные представления о допустимых уровнях загрязнения атмосферного воздуха, воды или ландшафта основаны на сведениях о вредном воздействии веществ на здоровье людей и животных, на растительность, на материальные ценности.

Основные требования по вопросам выбросов вредных веществ, при сжигании природного газа, в настоящее время существенно ужесточились. Так, во многих регионах государственные надзорные органы по защите окружающей среды предписывают уменьшить вредные выбросы оксидов азота на действующих энергетических объектах до уровня, соответствующего нормам, установленным ГОСТ 29328-92, кроме того, необходимо обеспечить высокую надежность и безопасность работы котлоагрегата, а так же высокие экономические показатели.

Исследуемый водогрейный котел работает на природном газе, поэтому основными токсичными выбросами, содержащимися в дымовых газах, являются окислы азота.

Окислы азота – высокотоксичные соединения, при взаимодействии с водой образуют азотную кислоту, которая при попадании в организм человека раздражает слизистую оболочку, вызывает необратимые изменения в сердечнососудистой системе. Подобные негативные воздействия оказывают и на

другие живые организмы и растительность. В соединении с углеводородами

окислы азота образуют высокотоксичные нитролефины. Уровень содержания вредных выбросов в выхлопных газах ограничивается по ГОСТ 29328-92. Для окислов азота концентрация окислов азота в продуктах сгорания не должна превышать  $0,085 \text{ мг/м}^3$  [31]. Окислы азота образуются в высокотемпературных зонах камеры сгорания в результате окисления азота, содержащегося в атмосферном

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		52

воздухе и азота содержащегося в топливе (NO).

Снижение выбросов обеспечивается автоматизацией процесса горения с регулированием подачи топливо-воздух, регулированием нагрузки, контролем за содержанием кислорода в продуктах сгорания.

В периоды неблагоприятных метеорологических условий работа котельной должна осуществляться в соответствии с мероприятиями по регулированию выбросов, обоснованных в установленном порядке для данной местности.

Для котельной организационно-техническими мероприятиями в период НМУ являются:

- включение в работу количества котлоагрегатов, обеспечивающих максимальный КПД при конкретной нагрузке;
- повышенный контроль за процессом горения топлива в части минимального выхода загрязняющих веществ;
- исключение очистки поверхностей нагрева котлов и экономайзеров;
- запрещение выполнения на период НМУ пуско-наладочных работ.

Мероприятия по охране окружающей среды должны выполняться в соответствии с законами Российской Федерации о недрах и земле, об охране животного мира, атмосферного воздуха, памятников истории и культуры, законом о защите окружающей природной среды.

Ответственность за соблюдение проектных решений по охране экологии несет строительная организация, осуществляющая монтаж.

Предоставленные во временное пользование земельные участки после окончания строительно-монтажных работ должны быть рекультивированы [41].

## 7.1 Расчет дымовой трубы котельной

На реконструируемой котельной находится существующая дымовая труба высотой  $H=30$  м и диаметром устья  $D=0,75$  м. Проверим условие, при котором безразмерная суммарная концентрация не должна превышать 1. Расчет производим для зимнего периода времени, так как на зиму приходится наибольшая тепловая нагрузка, работают 4 котла ВК-21 (7.1):

$$\frac{C_{NO_2}}{\dot{V} \hat{E}_{NO_2}} \leq 1, \quad (7.1)$$

Максимальную приземную концентрацию можно рассчитана по формуле (7.2):

$$C_{NO_2} = \frac{A \cdot M_{NO_2} \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_{\dot{\delta}} \cdot \Delta T}}, \quad (7.2)$$

где  $V_{mp}$  – полный расход дымовых газов на срезе (устье) трубы, м<sup>3</sup>/с;

$F$  – коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе. Для газообразных примесей  $F = 1$  [37];

$m, n$  – безразмерные коэффициенты учитывающие условия выхода газовойоздушной

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		53

смеси из устья источника выброса.

$A=160$  – коэффициент, учитывающий рассеивающие свойства атмосферы при неблагоприятных метеорологических условиях, определяет условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе, определяется климатической зоной [37];

$M$  – суммарное количество вредного вещества выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с;

$\Delta T$  – разность температур выбрасываемых газов и атмосферного воздуха;

Так как топливом является природный газ, состав которого приведен в таблице 4.2, то определяем выброс оксидов азота (7.3):

$$M_{\text{NO}_2} = 0,001 \cdot \hat{A} \cdot Q_p^i \cdot k_{\text{NO}_2} \cdot (1 - \beta), \quad (7.3)$$

где  $\hat{A} = 221,9 \cdot 4 = 887,6 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,25 \text{ м}^3/\text{с}$  – расход топлива для 4 котлов;

$Q_p^i$  – теплота сгорания топлива, МДж/м<sup>3</sup>;

$k_{\text{NO}_2}$  – параметр, характеризующий количество окислов азота, образующихся на 1 МДж тепла, 0,1 кг/МДж;

$\beta$  – коэффициент, учитывающий степень снижения выбросов окислов азота в результате применения технических решений  $\beta = 0$  [37], (7.3):

$$M_{\text{NO}_2} = 0,001 \cdot 0,25 \cdot 33472 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0) = 0,83 \text{ г/с.}$$

Для определения скорости продуктов сгорания на выходе из дымовой трубы необходимо первоначально определить расход продуктов сгорания через трубу (7.4):

$$V_{\partial\partial} = \hat{A}_{\partial} \cdot (V_{\bar{a}} + \Delta\alpha \cdot V^o) \cdot \frac{\vartheta + 273}{273}, \quad (7.4)$$

где  $V_{\bar{a}}$  – количество дымовых газов на выходе из котлоагрегата, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, находим в таблице 4.4;

$V^o$  – теоретическое количество воздуха, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, находим по таблице 4.4;

$\vartheta$  – температура уходящих газов, принимается равной температуре на выходе из котлоагрегата;

$\Delta\alpha$  – присос воздуха в газоходах, не учитывается, так как в рассматриваемом котле коэффициент избытка воздуха во всех трактах газохода не изменяется,

$$V_{\partial\partial} = 0,25 \cdot (11,23 + 9,571) \cdot \frac{170 + 273}{273} = 8,4 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Скорость продуктов сгорания на выходе из дымовой трубы рассчитаем (7.5)

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		54

$$w_{\bar{a}} = \frac{4 \cdot V_{\delta\delta}}{\pi \cdot D^2}, \quad (7.5)$$

$$w_{\bar{a}} = \frac{4 \cdot 8,4}{3,14 \cdot 0,75^2} = 19,4 \text{ м/с.}$$

Находим значения коэффициентов  $m$  и  $n$ .

По формуле (7.6) найдём  $f$ :

$$f = \frac{10^3 w_{\bar{a}}^2 D_{\delta\delta}}{H^2 \Delta T}, \quad (7.6)$$

где  $\Delta\dot{O} = 170 + 273 - (-15,8 + 273) = 185,8 \text{ К}$ ,

$$f = \frac{10^3 \cdot 19,4^2 \cdot 1}{30^2 \cdot 185,8} = 2,25$$

По формуле (7.7) найдём  $m$ :

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}, \quad (7.7)$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{2,25} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{2,25}} = 1,26$$

По формуле (7.8):

$$v_i = 0,65 \cdot \sqrt[3]{V_{\delta\delta} \cdot \Delta T / H}, \quad (7.8)$$

$$v_i = 0,65 \cdot \sqrt[3]{8,4 \cdot 185,8 / 30} = 2,4 \text{ м/с.}$$

При расчете  $v_m \geq 2$ , следовательно:  $n = 1$ .

Теперь определяем максимальную приземную концентрацию оксидов азота по формуле (7.2):

$$C_{NO_2} = \frac{A \cdot M_{NO_2} \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_{\delta\delta} \cdot \Delta T}}, \quad (7.2)$$

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		55

$$C_{NO_2} = \frac{160 \cdot 0,83 \cdot 1,26 \cdot 1}{30^2 \cdot \sqrt[3]{8,4 \cdot 185,8}} = 0,016 \text{ мг/м}^3.$$

Проверим условие, при котором безразмерная суммарная концентрация не должна превышать 1, т.е. (7.1):

$$\frac{C_{NO_2}}{\hat{I}\hat{A}\hat{E}_{NO_2}} \leq 1, \quad (7.1)$$

Получаем (7.1):

$$\frac{0,016}{0,085} = 0,19 < 1.$$

Условие выполняется, то оставляем существующую дымовую трубу и расчет считаем окончанным.

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		56



## 8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Работа котельной на газообразном топливе требует строгого соблюдения «Правил безопасности систем газораспределения и газопотребления» ПБ 12-529-03; СНиП 42-01-2002; СНиП III-4-80 [16].

Для безопасной работы котлов проектом предусмотрены:

Автоматика безопасности и регулирования процессов горения;

- Установка взрывного клапана на котле и газоходе;
- Для вентиляции топок неработающих котлов в верхней части шибера вырезается отверстие диаметром не менее 50 мм;
- Пуск, остановка и эксплуатация котельной производится в соответствии с утвержденной инструкцией эксплуатации;
- Эксплуатация котельной предусматривается с постоянным наблюдением со стороны обслуживающего персонала;
- Все газовое оборудование заземляется;

### 8.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов при работе с водогрейным котлом

В помещении котельной установлены водогрейные котлы, работающие на природном газе.

Опасные и вредные производственные факторы (ОВПФ) делятся на физические, химические, биологические и психофизические. В ГОСТ 12.0.003-80 «Опасные и вредные производственные факторы» приводится классификация ОВПФ [10].

В зоне обслуживания водогрейного котла вредными производственными факторами являются:

1. Физические факторы:

– Неудовлетворительные параметры микроклимата. Требования к параметрам микроклимата в производственных помещениях устанавливает СанПиН 2.2.4.548-96, данные приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Показатели микроклимата водогрейной котельной

Показатель		Период года	
		Холодный	Теплый
1		2	3
Температура воздуха, °Ñ	оптимальная	21-23	22-24
	допустимая	19-24	20-28

Продолжение таблицы 8.1

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		57

1		2	3
Температура поверхностей, °Ñ	оптимальная	20-24	21-25
	допустимая	18-25	19-29
Относительная влажность воздуха, %	оптимальная	60-40	60-40
	допустимая	15-75	15-75
Скорость движения воздуха, м/с	оптимальная	0,1	0,1
	допустимая	0,1-0,2	0,1-0,3

– Возможность поражения теплоносителем с высокой температурой;  
– Тепловое излучение от горячих поверхностей: все элементы котлов, трубопроводов, и вспомогательного оборудования с температурой стенки наружной поверхности выше 55°С расположены в местах, доступных для обслуживающего персонала, покрыты тепловой изоляцией, температура которой не превышает 45 °С, предельно допустимые нормы тепловыделения на рабочем месте составляют 35 Вт/м<sup>2</sup>;

– Повышенный уровень постоянного шума: уровни шума на рабочих местах должны соответствовать значениям ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности» [18]. Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах не должны превышать значений, представленных в таблице 8.2.

Таблица 8.2 – Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих места

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ·А
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах	95	87	82	78	75	73	71	69	80

– Повышенный уровень вибрации: постоянное воздействие вибрации на организм человека может привести к возникновению очагов застойного возбуждения в головном и спинном мозге. Затем может произойти физическое расстройство со стороны конечностей опорно-двигательного аппарата. Уровень вибрации должен

соответствовать ГОСТ 12.1.012-БТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования» [19]. Амплитуда вибрации дымососов и вентиляторов не должна превышать 0,1 мм. При амплитуде равной 0,2 мм производят аварийный останов оборудования.

– Освещение: помещение котельной согласно СНиП 23-05-95\* «Естественное и искусственное освещение» [20] должно быть освещено таким образом, чтобы гарантировать возможность правильного и безопасного обслуживания котлов. В качестве источников света применяются энергосберегающие люминесцентные лампы, обеспечивающие освещенность не менее 300 Лк. Для обеспечения требуемого направления светового потока электрические лампы заключают в специальную арматуру, которая обеспечивает защиту глаз от слепящего действия и предохраняет лампы от загрязнения, механических повреждений и неблагоприятного воздействия внешней среды.

2. Химические факторы:

- Общетоксические, основным источником является природный газ;
- Высокое содержание в дымовых газах;
- Возможные утечки природного газа.

В воздухе рабочей зоны могут содержаться токсичные вещества - угарный газ CO, и оксид азота NO, диоксид азота NO<sub>2</sub> – сильнодействующие ядовитые газообразные вещества, входящие в состав продуктов сгорания топлива. Они появляются в котельной в случаях утечки через неплотности в местах стыковки частей газохода. Отравляющие газы - углеводороды CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, входящие в состав приводного газа. Они появляются в случае утечки природного из неплотностей соединений газопроводов.

Класс опасности диоксида азота - III, угарного газа - IV. Предельно допустимая концентрация угарного газа составляет 20 мг/м<sup>3</sup>, предельно допустимая концентрация диоксида азота 5 мг/м<sup>3</sup>.

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе приведены в таблице 8.3.

Таблица 8.3 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Вещества	мг / м <sup>3</sup>	Класс опасности
1	2	3
Аммиак	20	4
Алюминий	2	4

Продолжение таблицы 8.3

1	2	3
Ацетон	200	4

Бензол	5	2
Борная кислота	10	3
Ванадий	0,1	1
Йод	1	2
Марганец	0,3	2
Медь	1	2
Никель	0,5	2
Ртуть металлическая	0,01	1
Спирт метиловый	5	3
Сурьма	0,3	2
Хлор	0,1	1
Цианистый водород	0,3	2
Чугун	6	4

### 3. Факторы трудового процесса:

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

### 4. Травмоопасные факторы:

- Повышенное давление теплоносителя;
- Разностное расположение оборудования, в результате чего, возможны падения и травмирование;
- Движущиеся и вращающиеся части механизмов могут вызвать механическое повреждение тела человека при попадании частей тела в поле действия этих частей механизмов;
- Возможность поражения электрическим током.

### 5. Аварийно-возможные ситуации:

- Утечка топлива;
- Взрыв котла;
- Пожар.

## 8.2 Безопасность производственных процессов и оборудования

Механическая прочность оборудования обеспечивается заводом –изготовителем. Каждый сосуд, трубопровод снабжается паспортом и таблицей, которая при нанесении изоляции не закрывается. На ней указывается тип аппарата, его заводской

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		60

номер и расчетные параметры. Паспорт выдается также на арматуру.

Для предотвращения возникновения гидроудара все трубопроводы снабжены дренажами. Вся арматура на трубопроводах высоких параметров электрифицирована. Сосуды, работающие под давлением, снабжены контрольно - измерительной и предохранительной аппаратурой. Оборудование снабжено системами КИПиА: манометрами, термометрами, расходомерами и т.д., которые позволяют вести контроль за работой оборудования, а при отклонении каких-либо параметров от номинальных значений на центральный тепловой щит управления от первичного оборудования, прибора, расположенного по месту, подается световой или звуковой сигнал.

На турбинах и на котлах расположен ряд технологических защит, которые в случае возникновения ситуации, опасной для целостности оборудования, либо жизни людей, автоматически выключают котлоагрегат, либо объект, создающий угрозу.

Опознавательная окраска и маркировка на трубопроводах, арматуре и оборудовании наносится в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.026-2001 ССБТ «Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная [21]. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний»:

- вода – зеленый;
- воздух – синий;
- кислота – оранжевый;
- щелочь – фиолетовый;
- техническая вода – черный;
- газопровод – желтый.

Опознавательная окраска наносится сплошной линией по всей поверхности коммуникаций или отдельными участками. Если изоляция трубопровода покрыта металлической обшивкой, то он не окрашивается. Чтобы персонал не ошибся при переключениях, задвижки и вентиля имеют собственный номер, надпись и указатель направления вращения штурвала.

Рассмотрим описание правил действий оператора котельной при проведении работ.

Перед процедурой запуска котла оператор должен:

- проверить правильность подключения расширительного бака и предохранительного клапана и убедиться, что они не могут быть перекрыты;
- проверить, надежность фиксации датчиков термостатов и термометра внутри соответствующих гильз;
- проверить, что турбулизаторы установлены во все дымогарные трубы;
- проверить, что система заполнена водой и воздух полностью стравлен;
- проверить, что насосы работают правильно;
- проверить, что гидравлические, электрические устройства, приборы безопасности и дымоходы подключены в соответствии с действующими национальными и местными нормами;
- проверить, что горелка установлена в соответствии с инструкцией завода-изготовителя горелки;
- проверить, что напряжение и частота электрической сети находятся в

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		61

соответствии с техническими данными горелки и электрооборудования котла;

- проверить, что система в состоянии принять все количество тепла, которое может быть произведено теплогенератором.

После запуска котельного агрегата оператор котельной обязан:

- открыть запирающие топливные задвижки и проверить отсутствие утечек в линии подачи топлива, переключить все выключатели в положение «ВКЛ».

- убедиться, что передняя дверь, фланец горелки и подключения к дымовой трубе являются газоплотными и присутствует небольшое отрицательное давление (тяги) на входе в дымоход;

- производительность топливоподачи должна соответствовать техническим данным по мощности котла и не в коем случае не должна превосходить максимальных значений заявленной мощности;

- температура уходящих газов никогда не должна повышаться более 200 °С.

Перед процедурой отключения котельного агрегата оператор обязан:

- установить контроллер температуры на минимум;

- выключить горелку (обесточить) и перекрыть подачу топлива;

- оставить насосы в работе до тех пор, пока они не отключатся контроллером температуры.

- выключить главным выключателем электрощит.

Оператор котельной должен производить периодические технические осмотры котельного агрегата на предмет выявления каких-либо неисправностей.

Периодическое обслуживание является важной составляющей для обеспечения безопасности, эффективности и длительного срока эксплуатации оборудования.

Все операции по чистке и обслуживанию котла должны производиться при закрытой подаче топлива и отключенном электроснабжении.

Для правильной работы и максимальной эффективности котла, камера сгорания, дымогарные трубы и дымовой коллектор должны регулярно чиститься.

Во время текущего обслуживания, после удаления турбулизаторов, необходимо:

- убедиться, что система отвода конденсата не заблокирована;

- убедиться в том, что устройства измерения и управления функционируют нормально;

- замерить расход подпиточной воды, и, после проведения анализа воды, добавить реагент против накипи.

- после окончания работ по чистке и обслуживанию и повторного запуска котла, проверить плотность прилегания двери и дымового коллектора, и, в случае обнаружения неплотности, заменить соответствующие уплотнения.

Выполненные операции должны быть занесены в журнал эксплуатации установки. Специальное обслуживание производится операторами в конце отопительного сезона или перед продолжительной остановкой котла. Должны выполняться все операции, описанные в выше, а также дополнительно:

- проверка турбулизаторы на предмет износа;

- после проведения чистки газоходов, обработать их раствором каустической соды. После высыхания обработанных поверхностей, протереть все поверхности масляной тряпкой;

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		62

- гигроскопические материалы (негашеная известь, силикагель в небольших емкостях) следует поместить внутрь топки, которая затем должна быть герметично закрыта, так чтобы предотвратить свободный доступ воздуха.

- обработать винты, гайки, штифты двери графитовой смазкой.

Выполненные операции должны быть занесены в журнал эксплуатации установки.

После окончания описанных операций, для запуска котла операторы необходимо выполнить следующие действия:

- убедиться, что система контроля котлоагрегата находится в положении «включено».

- установить комнатный таймер-термостат и контроллер температуры на желаемое значение температуры.

- повернуть главный выключатель системы в положение «включено».

- установить термостат котла, расположенный на пульте управления котла.

- переключить выключатель котла на панели управления в положение «включено» и убедиться, что зажегся зеленый индикатор. Котел перейдет в режим запуска, и будет оставаться в нем до достижения установленной температуры.

После запуска котла, оператор должен убедиться, что он останавливается, и запустить его снова.

### 8.3 Пожарная безопасность

Противопожарная защита должна достигаться применением одного из следующих способов или их комбинацией:

- применением средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники;

- применением автоматических установок пожарной пожарной сигнализации и пожаротушения;

- применением основных строительных конструкций и материалов, в том числе используемых для облицовок конструкций, с нормативными показателями пожарной опасности;

- применением пропитки конструкций объектов антипиренами с нанесением на их поверхности огнезащитных красок;

- устройствами, обеспечивающими ограничение распространения пожара;

- организация с помощью технических средств, включая автоматическое своевременного оповещения и эвакуации людей;

- применением средств коллективной и индивидуальной защиты людей от опасных факторов пожара;

- применением средств противодымной защиты.

Ограничение распространения пожара за пределы очага должно достигаться применением одного из следующих способов или их комбинацией:

- устройством противопожарных преград;

- установлением предельно допустимых по технико-экономическим расчетам площадей противопожарных отсеков и секций, а также этажности зданий, но не более

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		63

определенных нормами;

- устройством аварийного отключения и переключения установок и коммуникаций.

Каждый объект должен иметь такое объемно-планировочное и техническое исполнение, чтобы эвакуация людей из него была завершена до наступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара, а при нецелесообразности эвакуации была обеспечена защита людей на объекте. Для обеспечения эвакуации необходимо:

- установить количество, размеры и соответствующее конструктивное исполнение эвакуационных выходов;
- обеспечить возможность беспрепятственного движения людей по эвакуационным путям;
- организовать при необходимости управление движением людей по эвакуационным путям (световые указатели, звуковое, речевое оповещение и т.д.).

Средства коллективной и индивидуальной защиты должны обеспечивать безопасность людей в течение всего времени действия опасных факторов пожара.

Коллективную защиту следует обеспечивать с помощью пожаробезопасных зон и других конструктивных решений.

Средства индивидуальной защиты следует применять также для пожарных, участвующих в тушении пожара.

Система противодымной защиты объектов должна обеспечивать незадымление, снижение температуры и удаление продуктов горения и термического разложения на путях эвакуации людей и коллективную защиту людей в соответствии с требованиями и защиту материальных ценностей [25].

Противопожарные мероприятия:

Пожарная безопасность здания обеспечивается выполнением СНиП 31-01-2003, СНиП 21-01-97 [22].

Эвакуационные и аварийные выходы:

- Из здания котельной имеется непосредственный выход наружу. Наличие внутренней стены разделяет помещение на два отсека. При этом расстояние от наиболее удаленной точки помещения до выхода составляет 38м;
- В стене, противоположной основному выходу наружу, имеется дверь, через которую возможен проход персонала в помещение котельной завода ЖБИ и через него наружу. В аварийной ситуации проход может использоваться в качестве запасного выхода;

Обеспечение безопасности газоснабжения:

В процессе реконструкции котельной не предусматривается изменение подачи газа. Точка врезки принята существующей. Ввод в котельную остается существующим.

Безопасная эксплуатация газопроводов осуществляется эксплуатирующей организацией. Для предупреждения аварийных ситуаций разрабатывается график обходов, профилактических осмотров и ремонтов газопровода.

В случае наличия трещин или свищей поврежденный участок должен быть немедленно отключен. Весь газ из участка, подлежащего ремонту, сбрасывается в атмосферу через продувочные печи у отключающих устройств.

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		64



При получении сигнала о возникновении аварийной ситуации аварийная бригада по газу, выехав на место, оценивает ситуацию, ее возможное развитие и последствия. При необходимости вызывает на место аварии МЧС.

В случае возникновения пожара в помещении котельной и вблизи наружного газопровода одной из первых мер должно быть прекращение подачи газа на пожарный участок [16].

#### 8.4 Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных, технических мероприятий, а так же средств защиты от поражений человека электрическим током. Эти мероприятия включают в себя выбор рациональных режимов работы персонала по обслуживанию электроустановок, ограничение мест и времени пребывания персонала в зоне воздействия электрического тока.

Оборудование производства должно быть выполнено так, чтобы исключить накопление зарядов статического электричества в количестве, опасном для работающего, и исключить возможность пожара и взрыва.

Производственно-отопительная котельная относится к третьему классу помещения по электроопасности, то есть это помещение без повышенной опасности.

Напряжение сети принято 380/220В. Электроснабжение предусматривается от сети ~ 380В.

Для обеспечения электробезопасности необходимо соблюдать требования нормативных документов:

– приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 24.07.2013 №328-н [6];

– ГОСТ 12.1.038-82 “Электробезопасность. Предельно-допустимые напряжения прикосновений токов” [11].

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		65

## 9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

В соответствии с произведённым расчётом тепловая нагрузка района увеличилась, мощности эксплуатируемых котлов ВК-21 недостаточно для обеспечения тепловой нагрузкой потребителей. Было предложено решение произвести реконструкцию районной котельной г. Коркино посредством установки котельного агрегата.

Проанализировав наиболее распространённые котельные агрегаты были выбраны два возможных варианта реконструкции:

- первый – установка отечественного котельного агрегата ВК-21;
- второй – установка иностранного котельного агрегата BOSCH Unimat UT.

### 9.1 Расчет капитальных и текущих затрат по вариантам реконструкции

#### Вариант 1 – установка отечественного котельного агрегата ВК-21

Смета капитальных затрат для установки котла ВК-21 представлена в таблице 9.1 [54], [59], [60], [61].

Таблица 9.1 – Смета капитальных затрат для установки котла ВК-21

Наименование затрат	Сумма, тыс. руб
1	2
1. Затраты на проектно-конструкторскую разработку мероприятий	550

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		66

2. Стоимость оборудования: Котёл ВК-21 (котельная часть, горелка с вентилятором и системой автоматики безопасности и регулирования, контрольно-измерительные приборы и датчики системы автоматики, стойка управления, дымогарные трубы 2200 руб. 1шт.)	1404
3. Расходы на транспортировку оборудования	95
4. Стоимость строительно-монтажных работ	10
5. Стоимость пуско-наладочных работ	150
Итого:	2209

В расчетах текущих затрат учитываются следующие статьи затрат [33]:

- Топливо;
- Вода;
- Амортизационные отчисления (исходя из капитальных затрат на оборудование, здания, приборы и др., а также соответствующих нормамортизационных отчислений в упрощенных расчетах – 10%);
- Текущий ремонт (приблизительно – 5% от суммы амортизационных отчислений);
- Прочие расходы (устанавливаются в размере 20% от суммы затрат на зарплаты персонала);
- Заработная плата эксплуатационного персонала;
- Отчисления на социальное страхование 34% от суммы зарплаты;

Стоимость годового расхода топлива найдём по формуле (9.1):

$$I_m = C_m \cdot B_{год}, \quad (9.1)$$

где  $C_m$  – цена топлива. В 2018 году цена природного газа – 3,87 руб./м<sup>3</sup> [57];  
 $B_{год}$  – годовой расход топлива, равный 1160 тыс. м<sup>3</sup>/год,

$$\dot{E}_\delta = 3,87 \cdot 1160 = 4489,2 \text{ тыс.руб./год.}$$

Стоимость годового расхода воды найдём по формуле (9.2):

$$\dot{E}_a = \ddot{O}_a \cdot G_{\ddot{a}\ddot{a}}, \quad (9.2)$$

где  $C_a$  – цена воды. В 2018 году цена воды составляет 25,24 руб./м<sup>3</sup>,  
 $G_{год}$  – годовой расход воды, равный 330 тыс. м<sup>3</sup>/год,

$$\ddot{O}_a = 25,24 \cdot 330 = 8329,2 \text{ тыс.руб./год.}$$

Амортизация оборудования (9.3):

$$I_a = H_a \cdot O_{об}, \quad (9.3)$$

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		67

где  $H_a = 10\%$  – норма амортизации [33];

$\hat{I}_{ia} = 1404$  тыс.руб. – общая стоимость оборудования [54],

$$\dot{E}_a = 0,1 \cdot 1404 = 140,4 \text{ тыс.руб.}$$

Затраты на текущий ремонт (9.4):

$$I_{mp} = 0,05 \cdot O_{об}, \quad (9.5)$$

$$\dot{E}_{\delta\delta} = 0,05 \cdot 1404 = 70,2 \text{ ðñ. ðá.}$$

Годовой фонд основной и дополнительной зарплаты всех категорий персонала котельной  $Z=450$  тыс. руб./год.

Социальные отчисления (9.6):

$$\dot{E}_{\text{ñö}} = \dot{I}_{\text{ñ}} \cdot \zeta, \quad (9.6)$$

где  $H_c = 34\%$  – процент отчислений на социальные нужды [33]

$$\dot{E}_{\text{ñö}} = 0,34 \cdot 450 = 153 \text{ тыс.руб./год.}$$

Прочие расходы (9.7):

$$\dot{E}_{i\delta} = 0,2 \cdot \zeta, \quad (9.7)$$

$$\dot{E}_{i\delta} = 0,2 \cdot 450 = 90 \text{ тыс.руб.}$$

Сумма текущих затрат при эксплуатации котельной (9.8):

$$I_1 = I_m + I_a + I_{mp} + I_{соц} + I_{он}, \quad (9.8)$$

$$\dot{E}_1 = 4489,2 + 8329,2 + 140,4 + 70,2 + 153 + 90 = 13272 \text{ тыс.руб.}$$

Сведем текущие затраты для котла ВК-21 в таблицу 9.2 [33], [57], [58].

Таблица 9.2 – Калькуляция текущих затрат для котла ВК-21

Показатели и статьи затрат	Ед. измерения	Величина
1	2	3
1. Стоимость годового расхода топлива	Тыс.руб./год	4489,2

2. Стоимость годового расхода воды	Тыс.руб./год	8329,2
3. Амортизационные отчисления	Тыс.руб./год	140,,4
4. Затраты на текущий ремонт	Тыс.руб./год	70,2
5. Социальные отчисления	Тыс.руб./год	153
6. Зарплата персонала	Тыс.руб.год	450
Итого	Тыс.руб./год	13272
Себестоимость 1 Гкал теплоты	Руб	197,9

Смета капитальных затрат для котла BOSCH Unimat UT представлена в таблице 9.3 [55], [59], [60], [61].

Таблица 9.3 – Смета капитальных затрат для установки котла BOSCH Unimat UT

Наименование затрат	Сумма, тыс. руб
1	2
1. Затраты на проектно-конструкторскую разработку мероприятий	550
2. Стоимость оборудования: Котёл BOSCH Unimat UT (котельная часть, порелка с вентилятором и системой автоматики безопасности и регулирования, контрольно-измерительные приборы и датчики системы автоматики, стойка управления)	1700
3. Расходы на транспортировку оборудования	100
4. Стоимость строительно-монтажных работ	50
5. Стоимость пуско-наладочных работ	150
Итого:	2550

### Вариант 2 – установка иностранного котельного агрегата BOSCH Unimat

Произведем расчет текущих затрат для котла BOSCH Unimat UT, результаты сведем в таблицу 9.4 [33], [57], [58].

Таблица 9.4 – Калькуляция текущих затрат для котла BOSCH Unimat UT

Показатели и статьи затрат	Ед. измерения	Величина
1	2	3
1. Стоимость годового расхода топлива	Тыс.руб./год	4199

2. Стоимость годового расхода воды	Тыс.руб./год	8320
3. Амортизационные отчисления	Тыс.руб./год	170
4. Затраты на текущий ремонт	Тыс.руб./год	85
5. Социальные отчисления	Тыс.руб./год	153
6. Зарплата персонала	Тыс.руб./год	450
Итого	Тыс.руб./год	13377
Себестоимость 1 Гкал теплоты	руб	199,5

## 9.2 Выбор лучшего варианта реконструкции

Сравним значение капитальных  $K_1 = 2209$  тыс.руб./год,  $K_2 = 2550$  тыс.руб./год,  $C_1 = 13272$  тыс.руб./год,  $C_2 = 13377$  тыс.руб./год и текущих затрат в первом и втором варианте, получаем соотношение:

$$K_1 < K_2$$

$$C_1 < C_2$$

Получили, что, экономически целесообразнее реализовать первый вариант проекта – установка котла ВК-21.

## 9.3 SWOT-анализ проектных решений

Модель используется для качественного анализа вариантов технических решений, сравниваемых в экономической части ВКР.

SWOT-анализ — метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы).

SWOT-анализ для котла ВК-21 представлен в таблице 9.5 [33].

Таблица 9.5 – SWOT-анализ для котла ВК-21

Внутренняя среда	Сильные стороны (S)	Слабые стороны (W)
	1. Меньшие затраты на сопутствующее оборудование; 2. Прост в обслуживании; 3. Высокий показатель КПД	1. Большой удельный расход топлива;
Внешняя среда	Возможности (O)	Угрозы (T)

	1. Постоянный спрос на тепловую энергию; 2. Увеличение количества потребителей;	1. Повышение цен на энергоресурсы;
--	--	------------------------------------

SWOT-анализ для котла BOSCH Unimat UT приведен в таблице 9.6 [33].

Таблица 9.6 – SWOT-анализ для котла BOSCH Unimat UT

Внутренняя среда	Сильные стороны (S)	Слабые стороны (W)
	1. Высокий показатель КПД; 2. Низкий удельный расход топлива;	1. Сложен в обслуживании; 2. Большие капитальные затраты.
Внешняя среда	Возможности (O)	Угрозы (T)
	1. Увеличение количества потребителей. 2. Постоянный спрос на тепловую энергию.	1. Рост налогов и пошлин; 2. Повышение цен на энергоресурсы; 3. Долгий период поставки оборудования

**Вывод:**

На основании проведенного анализа можно утверждать, что разработка и реализация проекта с использованием котла ВК-21 более предпочтительна, так как он имеет больше положительных сторон.

#### 9.4 Планирование целей проекта в дереве целей

Метод дерева целей считается одним из наиболее эффективных методов планирования задач. Этот метод включает в себя все общие принципы планирования, простые и лёгкие для изучения. Дерево целей имеет стандартную структуру. «Стволом» дерева целей является главная проблема, для которой требуется найти решение. «Ветки» — это задачи второго, третьего, четвёртого и так далее уровней.

В элементах схемы следует привести конкретные формулировки целей соответствующие выбранному варианту технического решения.

При планировании решения задачи, как правило, используют графическое изображение дерева. В таком изображении дерево имеет перевёрнутый вид, где «ствол» представляет собой вершину графа и находится на самом верху. А из неё, вершины, растут стремления последующих уровней, образуя крону. При построении «дерева целей» его проектирование идет по способу «от общего к частному». Верно

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		71

построенное дерево целей в предстоящем просто может быть преобразовано в план-график, либо диаграмму Ганта.

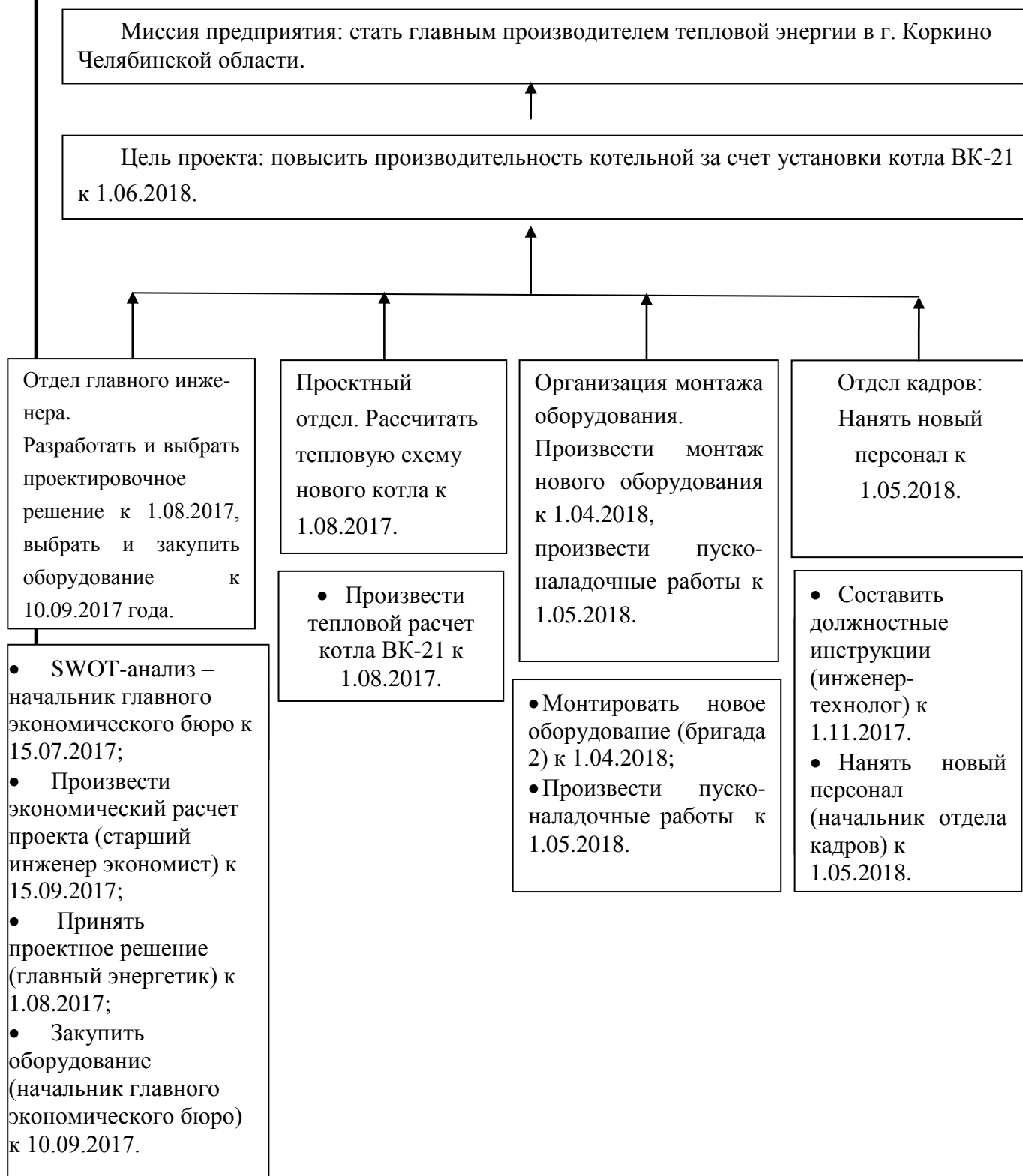


Рисунок 4 – Дерево целей проекта

График Ганта предназначена для иллюстрации разных этапов работы в сфере малого и среднего бизнеса. Визуально представляет собой простой набор полосок,



состоящих из двух главных осей: дел и времени. Каждому временному промежутку приписывается определённая задача, которая должна быть выполнена.

Результаты построения графика Ганта представлены в таблице 9.7 [33].

Таблица 9.7 – График Ганта

Этапы	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Апрель	Май
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Расчет сравнительной экономической эффективности проектных решений	■										
Принятие проектного решения		■									
Тепловой расчет			■								
Экономический расчет проекта				■							
Закупка нового оборудования					■						
Составление должностных инструкций						■					
Монтаж нового оборудования							■				
Найм персонала										■	
Установка и настройка КИП и А											■
Пуско-наладочные работы											■

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		73

В выпускной квалификационной работе была проанализирована работа районной котельной города Коркино Челябинской области.

В ходе работы были решены нижеприведенные задачи:

- произведен анализ котельной, рассчитана тепловая нагрузка района;
- обоснована необходимость реконструкции исследуемой котельной;
- произведен анализ теоретической базы исследования, а также литературных источников по теме исследования;
- исследованы эффективность работы действующих водогрейных котлов котельной;
- произведен поиск аналогов водогрейных котлов;
- разработаны мероприятия по обеспечению энергосбережения;
- выполнено описание работ систем автоматизации котельной;
- рассмотрен вопрос обеспечения безопасности жизнедеятельности сотрудников котельной, а так же экологичности проекта.
- рассчитаны технико-экономические показатели проекта;

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		74



20 СНиП 23-05-95\* «Естественное и искусственное освещение»

21 ГОСТ 12.4.026-2001 ССБТ «Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. – М: Из-во стандартов, 2002.

22 СНиП 31-01-2003, СНиП 21-01-97.

23 СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М: Из-во стандартов, 2009.

24 СП 18.13330.2011. Генеральные планы промышленных предприятий. – М.: Минрегион России, 2011.

25 СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям. – М.: Изд-во стандартов, 2013.

26 СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. – М.: Минрегион России, 2010.

27 СП 61.13330.2012 Свод правил тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – М: Стандартиформ, 2013.

28 СП 89.13330.2012 Котельные установки. – М: Из-во стандартов, 2013.

29 СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\* (с Изменением N 2). – М: Из-во стандартов, 2012.

30 ПБ 10-574-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов. – М:ПАО ОБТ, 2003.

31 ГН-2.2.51313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. – М:Стандартиформ, 2003.

32 Автоматика энергосистем. Учебник для вузов / Под редакцией Л.Ф. Дьякова, – 3-е издание, исправленное. – М: МЭИ, 2009. – 469 с.

33 Алабугин, А. А. Экономико-управленческая часть выпускных квалификационных работ/ А. А. Алабугин, Р. А. Алабугина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018, – 44 с.

34 Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие /под ред. А. И. Сидорова, 2-е изд., перераб. и доп. – М: КНОРУС, 2016. – 552 с.

35 Бузников, Е. Ф. Производственные и отопительные котельные: научное издание / Е.Ф. Бузников, К.Ф. Роддатис, Э.Я. Берзиньш. – 3-е изд., перераб. – М: Энергоатомиздат, 2009. – 248 С.

36 Булкин, А.Е. Автоматическое регулирование энергоустановок: учебное пособие для вузов. Гриф МО РФ / А.Е. Булкин. – М: МЭИ, 2009. – 508 с.

37 Грибанов, А.И. Расчёт дымовой трубы / А. И. Грибанов. – Челябинск: ЮУрГУ, 2008. – 22 с.

38 Данилов, О.Л. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник / О.Л. Данилов. – М: Изд-во МЭИ, 2010. – 188 с.

39 Делягин, Г. Н. Теплогенерирующие установки: Учебное пособие для вузов / Г.Н. Делягин, В.И. Лебедев, Б.А. Пермяков. – М: Стройиздат, 2010. – 559 с.

40 Зайцев, В.А. Промышленная экология / В.А. Зайцев. – М:БИНОМ Лаборатория Знаний, 2012 – 382 с.

41 Калыгин, В. Г. Промышленная экология / В. Г. Калыгин. – 4-е издание, перераб. – М:Академия, 2010 – 432 с.

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		76

- 42 Клименко, А.В. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов / А.В. Клименко. – М: Изд-во МЭИ, 2010. – 424 с.
- 43 Краецкая, О.Ф. Экология промышленных технологий / О.Ф. Краецкая, И.Н. Прокопеня. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2014. – 107 с.
- 44 Кузнецов, Н.В. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод./ Н.В. Кузнецов. – 2-е изд., перераб. – М: ЭКОЛИТ, 2011 – 296 с.
- 45 Минкина, С. А. Тепловой и аэродинамический расчеты котельных агрегатов/ С. А. Минкина. – Самара: СГАСУ, 2013 – 104 с.
- 46 Ольшанский, А. И. Основы энергосбережения / А. И. Ольшанский. – М: Энергосервис, 2011. – 224 с.
- 47 Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М.: НЦ ЭНАС, 2007. – 552 с.
- Росляков, П.В., – М: Изд-во МЭИ, 2010. – 336 с.
- 48 Сидельковский, Л. Н. Котельные установки промышленных предприятий: учебник / Л. Н. Сидельковский, В. Н. Юренев. – 4-е изд., репринт. – М: Бастет, 2009. – 528 с.
- 49 Соколов, Б.А. Котельные установки и их эксплуатация / Б.А. Соколов. – М: Академия, 2007. – 432 с.
- 50 Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – М: Издательство МЭИ, 2001. – 471 с.
- 51 Экономика энергетики: учебник для вузов / под ред. Н.Д. Роголёва – М: МЭИ, 2011. – 320 с.
- 52 Приказ Минтруда России № 551н от 17 августа 2015 г. Правила по охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок – <http://minjust.consultant.ru/documents/16380>
- 53 Государственная программа Российской Федерации. Стратегия социально-экономического развития Челябинской области до 2020 года // Правительство Челябинской области. – [pravmin74.ru/sites/default/files/360-p-1.rtf](http://pravmin74.ru/sites/default/files/360-p-1.rtf).
- 54 Сайт завода изготовителя котла ВК-21 – <http://vpskt.ru/kot/?kt=kva20>
- 55 Сайт завода изготовителя котла BOSCH – [www.buderus.ru](http://www.buderus.ru)
- 56 Сайт завода изготовителя автоматики для котлов <http://www.arsenal74.ru/> БУК МП-01
- 57 Тарифы на газ – <http://www.novatek74.ru>
- 58 Тарифы на воду – <http://www.tarif74.ru>
- 59 Проектно-конструкторская компания – <https://dc-region.ru/>
- 60 Транспортная компания – <https://chelyabinsk.negabarite.com/>
- 61 Монтажная компания – <http://pusk74.ru/>
- 62 Тарифы на тепловую энергию – <http://tdb.regportal-tariff.ru/>

					13.03.01.2018.084.23 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		77