

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

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент,
Начальник участка пиковой котельной
МП трест «Теплофикация»
_____ В.В. Григорян
« ____ » _____ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

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

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ПИКОВОГО ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА №4 КВ-ГМ-100
МУНИЦИПАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ТРЕСТ «ТЕПЛОФИКАЦИЯ»
Г. МАГНИТОГОРСК ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛОТЫ**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА
ЮУрГУ–13.03.01.2018. 085.24.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
_____ К.П. Терещенко
« ____ » _____ 2018 г.

Челябинск 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ КОТЛА №4 КВ-ГМ-100 НА ПИКОВОЙ КОТЕЛЬНОЙ ГОРОДА МАГНИТОГОРСКА И ЕЕ АКТУАЛЬНОСТЬ	10
2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	11
3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	13
4 МОДЕРНИЗАЦИЯ ПИКОВОГО ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА №4 КВ-ГМ-100 ..	15
4.1 Расчет теплового потребления.....	15
4.1.1 Расчет тепловых нагрузок на отопление и вентиляцию	15
4.1.2 Расчет температур и расходов сетевой воды	18
4.2 Тепловой расчет котельного агрегата КВ-ГМ-100	22
4.2.1 Расчет объемов продуктов сгорания топлива	23
4.2.2 Расчет энтальпии продуктов сгорания газа и воздуха	25
4.2.3 Характеристики продуктов сгорания и воздуха	26
4.2.4 Тепловой баланс котельного агрегата и расход топлива	28
4.2.5 Поверочный расчет топки	30
4.2.6 Расчет фестона.....	32
4.2.7 Расчет конвективного пучка	37
4.2.8 Сводная таблица теплового расчета котла и расчетная невязка теплового баланса	39
4.2.9 Невязка	40
4.3 Аэродинамический расчет.....	41
4.3.1 Выбор вентилятора	43
4.3.2 Аэродинамический расчет газового тракта котла	44
4.3.3 Выбор дымососа.....	48
4.4 Расчет горелочных устройств котла.....	49
5 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ	53
5.1 Расчет экономии топлива, полученной в результате замены горелочного устройства	54
6 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ	56
6.1 Расчет объемов продуктов сгорания топлива	57
6.2 Расчет приземной концентрации выбросов	58
6.3 Расчет выброса оксидов азота.....	58
6.4 Расчет концентрации вредных веществ.....	59

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

7 АВТОМАТИЗАЦИЯ.....	63
8 Безопасность жизнедеятельности.....	66
8.1 Безопасность производственных процессов и оборудования	66
8.2 Пожаробезопасность.....	67
8.3 Электробезопасность	69
8.4 Защита от шума	70
8.5 Требования безопасности, предъявляемые к горелочным устройствам	71
8.6 Защита от вибрации	72
9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ	74
9.1 Смета капитальных затрат на модернизацию котла КВ-ГМ-100.....	74
9.2 Экономия текущих затрат	75
9.3 Срок окупаемости проекта модернизации котла КВ-ГМ-100.....	77
9.4 Себестоимость 1 ГДж теплоты	78
9.5 Ранжирование проблемы.....	79
9.6 Качественный анализ вариантов проектных решений.....	80
9.7 Дерево целей проекта	81
9.8 Планирование мероприятий по реализации проекта (график Ганта).....	83
9.9 Основные показатели энергетической и экономической эффективности	84
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	85
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	86

					<i>13.03.01.2018.085.24 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

находится в Орджоникидзевском районе. Мощность Пиковой котельной составляет 430 Гккал/ч. Величина установленной мощности принята по режимно-наладочным испытаниям, которые проводились на установленных котлоагрегатах. Расчетная нагрузка, которая необходима потребителям составляет 424,26 Гккал/ч.

Температурный график отпуска тепловой энергии в сеть от пиковой котельной является $150/70^{\circ}C$ со срезкой на $65^{\circ}C$ при температуре наружного воздуха $5^{\circ}C$ в точке излома.

Целью модернизации котельного агрегата послужило высокие затраты на обслуживание и ремонт горелочных устройств, их износу, за счет этого снижение КПД котельного агрегата. В планах развития города, расширение города Магнитогорска в южном направлении и постройка двух микрорайонов, в связи с этим нужно обеспечить новые района тепловой энергии.

					<i>13.03.01.2018.085.24 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		9

1 ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ КОТЛА №4 КВ-ГМ-100 НА ПИКОВОЙ КОТЕЛЬНОЙ ГОРОДА МАГНИТОГОРСКА И ЕЕ АКТУАЛЬНОСТЬ

Пиковая котельная города Магнитогорска обеспечивает отоплением нужды Орджоникидзеvского и части Правобережного района, а так же собственные нужды.

В котельной установлены: 4 котла общая суммарная производительность которых равна 430Гккал/ч.

Одна из главных проблем в мире – энергосбережение. На предприятие эта проблема является первостепенной. Для решения этой проблемы требуется модернизировать оборудование, которое имеется на котельной, чтобы снизить количество энергии, потребляемой оборудованием.

Важным фактором для перевооружения котельной стали: моральный и физический износ горелочных устройств, нехватка в скором времени тепловой мощности котельной на нужды потребления.

В проекте предусматривается замена на котле №4 КВ-ГМ-100 горелочных устройств. По режимно-наладочным испытаниям выявлено, что у горелок РГМГ-30 повышенный расход топлива, что снижает коэффициент полезного действия котельного агрегата, увеличение количество вредных выбросов в атмосферу.

Составим тепловой баланс котельного агрегата, чтобы определить какие процессы протекают в нем. Тепловой баланс – это сопоставление полезно использованной и потерянной теплоты в различных процессах. В производственных целях тепловой баланс делается для анализа тепловых процессов. Наибольшая потеря тепла уходит с уходящими газами. Чтобы уменьшить потери с уходящими газами необходимо уменьшить коэффициент избытка воздуха. Коэффициент избытка воздуха - это отношение фактически подаваемого количества воздуха к теоретически необходимому.

Принцип работы горелок – выполнить предварительное смешение топлива с воздухом, обеспечить подачу данной смеси для сгорания и сделать так, чтобы продукты сгорания полностью прошли процесс горения. Горение – сложный физико-химический процесс, превращения исходных веществ в продукты сгорания в ходе экзотермических реакций, сопровождающийся интенсивным выделением тепла. При сгорании топлива образуются вредные вещества, которые попадают в окружающую среду.

В работе будет выполнена замена горелочных устройств на ПГМГ-40. Они имеют меньший коэффициент избытка воздуха, по сравнению с установленными горелками, что приведет к уменьшению потерь тепла с уходящими газами, следовательно повысится коэффициент полезного действия котельного агрегата.

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

В процессе создания выпускной квалификационной работы были использованы такие источники ресурсов как: нормативно правовые акты Российской Федерации, учебно-методическая литература и интернет - ресурсы.

Работа разработана в соответствии с «Энергетической стратегии России до 2030 года» от 13 ноября 2009 года [1].

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

При написании выпускной квалификационной работы по модернизации пиковой котельной была использована нормативно – справочная и учебно – методическая литература:

Расчет теплового потребления был выполнен с использованием учебника для вузов «Теплофикация и тепловые сети» под авторством Е.Я. Соколова [2], и СП 131.13330.2012 Строительная климатология / Актуализированная редакция СНиП 23-01-99 [3].

Тепловой расчет котельного агрегата выполнен согласно нормативному методу [4] и СП 89.13330.2012. Котельные установки/Актуализированная редакция СНиП II-35-76 [5].

При расчете аэродинамического тракта котла была использована литература для вузов [6], [7] и [8].

Раздел энергосбережения написан с соблюдением всех требований Федерального закона №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»[9].

Вопросы экологии были рассмотрены в соответствии с Федеральным законом №7 «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 [10]. Расчет массовых выбросов загрязняющих веществ были проведены по методическим пособиям «Очистка дымовых газов. Часть 1»[11] и «Расчет дымовой трубы» [12].

При написании главы автоматизации были изучены правила техники эксплуатации ПБ 10-574-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов»[13], ГОСТ 21204-97 «Горелки газовые промышленные. Общие технические требования»[14].

В главе безопасность жизнедеятельности одним из основных нормативно-правовых актов был рассмотрен приказ Минтруда России от 17.08.2015 № 551н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок»[15].

Одним из важных направлений было рассмотрено при обеспечении безопасности персонала, связанного с наладкой, обслуживанием и ремонтом электро-спецоборудования. Для рассмотрения этих вопросов были изучены такие документы как: ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. «Пожарная безопасность Общие

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

требования»[16]; ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов»[17] и другие.

Глава экономика и управление была выполнена по материалам учебного пособия Р.А. Алабугиной «Экономико-управленческая часть выпускных квалификационных работ»[18].

Выпускная квалификационная работа была оформлена согласно методическим указаниям Р.А. Алабугина «Выпускная квалификационная работа: структура, требования к оформлению и нормоконтролю»[19].

					<i>13.03.01.2018.085.24 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>12</i>

3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Горелочное устройство для котельного агрегата – это устройство в котором происходит химическая реакция горения топлива. Несмотря на всю простоту этого процесса, наибольший эффект получаемый от оборудования зависит от того, насколько правильно и точно подобраны характеристики горелки. В зависимости, насколько точно подобраны характеристики горелочного устройства для данного котла и зависит работа самого котельного агрегата, а именно: коэффициент полезного действия, уровень вредных выбросов в атмосферу, целесообразный расход топлива, энергоэффективность, тепловые потери с уходящими газами и многие другие.

Сейчас, в настоящее время представлен огромный выбор горелочных устройств, как зарубежного, так и отечественного производства. Они различаются по виду сжигаемого топлива, по способу регулирования мощности и по способу подачи воздуха для обогащения топлива. Для того чтобы обеспечить в наибольшей степени эффективность работы устройства, необходимо верно выбрать нужные характеристики, от которых будет зависеть работа отопительного котла, его потребности и эксплуатации. Одним из таких устройств является горелка Дорогобужского котельного завода – ПГМГ-40. Горелочное устройство комбинированное, может применяться для сжигания природного газа и мазута. Диапазон рабочего регулирования горелки 20-100% от номинальной тепловой мощности, что обеспечивает надежную работу и поддерживает на всем протяжении своей работы оптимальное соотношение топливо/воздух. Основными узлами горелки является паромеханическая форсунка с коробом и патрубком первичного воздуха, газовая часть, воздухонаправляющее устройство вторичного воздуха и кольцо-рама. Данное устройство обеспечивает безаварийную работу объекта, соответствует всем современным требованиям и энергоэффективна.

Кроме отечественных производителей, так же на рынке есть и зарубежные компании, которые производят горелочные устройства. Одна из таких компаний ENERGY BRUCIATORI INDUSTRIALI S[20], которая находится в пригороде Турина в Италии. Газовые горелки серии IBSR производятся мощностью от 4,7 Мвт до 90 МВт. Предназначены для работы на всех видах газообразного и жидкого (в том числе нефть, мазут, отработанное масло и др.) топлива, а также для работы на двух и более видах топлива (комбинированные горелки). Эта конструкция включает в себя регистры (специальные лопатки) изменением положения которых можно изменять турбулентность воздушного потока через воздушный тракт горелки, и тем самым изменять геометрию факела: его длину и диаметр, что особенно актуально при реконструкции котлов Российских производителей с короткими топочными камерами.

В таблице 3.1 показана сравнительная характеристика зарубежного горелочного устройства IBSR-13, и отечественного ПГМГ-40.

										Лист
										13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2018.085.24 ПЗ

Таблица 3.1 – Сравнение характеристик отечественного и зарубежного горелочного устройства

Наименование	IBSR-13	ПГМГ-40
Тепловая мощность, МВт	39,5	42
Расход газа, м ³ /час	3996	4188
Коэффициент избытка воздуха	1,03	1,05
Цена, тыс.руб.	3000	600

Зарубежные горелочные устройства имеют наиболее большой ресурс до капитального ремонта, высокий уровень автоматике. Но горелочные устройства отечественного производства имеют цену на много меньше зарубежного производства. Целесообразно выбрать горелочное устройство отечественного производства.

4 МОДЕРНИЗАЦИЯ ПИКОВОГО ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА №4 КВ-ГМ-100

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

Котел КВ-ГМ-100 использует в качестве топлива природный газ. Природный газ не требует дорогостоящей топливоподготовки. Подготовка газа к сжиганию включает в себя его очистку и регулирование его давление, которое осуществляется в ГРУ[21].

4.1 Расчет теплового потребления

4.1.1 Расчет тепловых нагрузок на отопление и вентиляцию

Тепловая нагрузка подразделяется на две группы: сезонную и круглогодичную. К сезонной нагрузке относят нагрузки систем отопления и вентиляции (при подогреве воздуха приточной вентиляции административных и производственных зданий). Она зависит главным образом от климатических условий: температуры и влажности наружного воздуха, скорости ветра, интенсивности солнечного излучения. Ключевое значение имеет изменение температуры наружного воздуха, в связи с чем сезонная нагрузка имеет сравнительно постоянный суточный график.

Теплота необходимая для нужд отопления определяется по формуле (4.1):

$$Q_o' = Mq_o(1 + k_1), \quad (4.1)$$

где $q_o = 87 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$ – удельная тепловая характеристика здания[22];

$k_1 = 0,25$ – коэффициент, учитывающий расход теплоты для общественных зданий.

Площадь застройки определяется по формуле (4.2):

$$M = m \cdot f_{y\partial}, \quad (4.2)$$

где $f_{y\partial} = 18 \text{ м}^2/\text{чел}$ – удельная площадь на человека.

m – число жителей, $m = 12000$.

$$M = 12000 \cdot 18 = 21600 \text{ м}^2$$

$$Q_o' = 216000 \cdot 87 \cdot (1 + 0,25) = 23,49 \text{ МВт}$$

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

Рассчитаем тепловую нагрузку системы отопления при температуре наружного воздуха, соответствующую температуре начала отопительного периода по формуле (4.3):

$$Q_o^{+8} = \frac{t_в - t_n}{t_в - t_{но}} \cdot Q_o', \quad (4.3)$$

где $t_в$ – температура внутри помещений, $t_в = 20^\circ \text{C}$ [23];

t_n – температура наружного воздуха, $t_n = 8^\circ \text{C}$;

$t_{но}$ – температура самой холодной пятидневки в году, $t_{но} = -34^\circ \text{C}$ [3].

$$Q_o^{+8} = \frac{20 - 8}{20 - (-34)} \cdot 23,49 = 5,22 \text{ МВт}$$

Теплота необходимая для нужд вентиляции, МВт (4.4):

$$Q_в' = q_o M k_1 k_2, \quad (4.4)$$

где $k_2 = 0,6$ – коэффициент, учитывающий расход теплоты на вентиляцию общественных зданий.

$$Q_в' = 87 \cdot 216000 \cdot 0,25 \cdot 0,6 = 2,81 \text{ МВт}$$

Рассчитаем тепловую нагрузку системы вентиляции при температуре наружного воздуха, соответствующую температуре начала отопительного периода по формуле (4.5):

$$Q_в^{+8} = \frac{t_в - t_n}{t_в - t_{но}} \cdot Q_в', \quad (4.5)$$

$$Q_в^{+8} = \frac{20 - 8}{20 + 34} \cdot 2,81 = 0,626 \text{ МВт}$$

Годовая нагрузка теплоты на отопление, МВт (4.6):

$$Q_o^{год} = Q_o' \cdot \left[n_o \cdot \frac{t_в - t_n^{cp.o}}{t_в - t_n^{cp.o}} \right], \quad (4.6)$$

где $n_o = 0$ – продолжительность работы дежурного отопления;

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

$t_{вд}$ – температура внутреннего воздуха в период работы дежурного отопления
 $t_в$ – температура внутри помещений $t_в = 20^\circ \text{C}$ [23];
 $t_n^{cp.o}$ – средняя температура наружного воздуха в отопительный период,
 $t_n^{cp.o} = -7,37^\circ \text{C}$ [3];
 $t_{но}$ – температура самой холодной пятидневки в году, $t_{но} = -34^\circ \text{C}$ [3];
 n_o – продолжительность работы систем отопления, с/год.

$$Q_o^{zod} = (23.49 + 415.05) \cdot \left[86400 \cdot 218 \cdot \frac{20 - (-7,37)}{20 - (-34)} \right] = 4183,03 \cdot 10^6 \text{ МВт}$$

Годовая нагрузка теплоты на вентиляцию определяется по формуле (4.7):

$$Q_в^{zod} = Q_в \cdot n_o, \quad (4.7)$$

$$Q_в^{zod} = (2,82 + 77,12) \cdot 86400 \cdot 218 = 1505,63 \cdot 10^6 \text{ МВт}$$

Суммарная нагрузка теплоты для $t_{но}$ и +8 определяется по формулам (4.8) и (4.9):

$$Q_\Sigma^{t_{но}} = Q_o^{t_{но}} + Q_в^{t_{но}}, \quad (4.8)$$

$$Q_\Sigma^{t_{но}} = 438,54 + 79,97 = 518,51 \text{ МВт}$$

$$Q_\Sigma^{+8} = Q_o^{+8} + Q_в^{+8}, \quad (4.9)$$

$$Q_\Sigma^{+8} = 97,37 + 17,76 = 115,13 \text{ МВт}$$

Число часов за отопительный период со среднесуточной температурой наружного воздуха представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Число часов за отопительный период со среднесуточной температурой наружного воздуха, равной и ниже данной [2]

Температура	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	+8
Кол-во часов	7	26	65	190	566	1250	2560	3360	4100	5250

Далее строим график тепловой нагрузки и продолжительности тепловой нагрузки. Для этого по [24] определяем число часов за отопительный период со

среднесуточной температурой наружного воздуха, равной и ниже данной для г. Магнитогорск. График представлен на рисунке 4.1

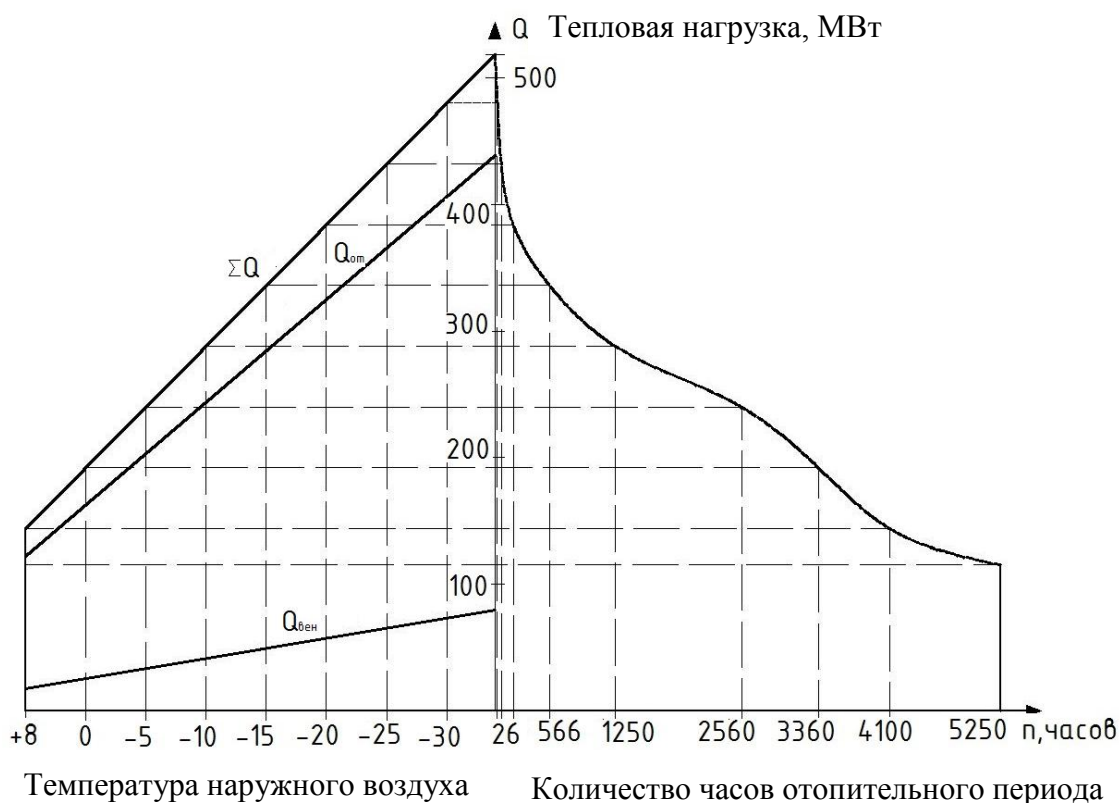


Рисунок 4.1 –График продолжительности тепловой нагрузки

4.1.2 Расчет температур и расходов сетевой воды

В пиковой котельной происходит качественное регулирование по отопительной нагрузке и имеет закрытую систему теплоснабжения.

При этом методе регулирования для поддержания расчетной температуры воздуха в помещении расход воды через систему отопления должен быть постоянным.

Расчет будем вести по следующим параметрам:

- температура воды в подающей линии теплосети $\tau_{01} = 150^{\circ}\text{C}$;
- температура воды в обратной линии теплосети $\tau_{02} = 70^{\circ}\text{C}$;
- температура воды, поступающей в систему отопления $\tau_{03} = 95^{\circ}\text{C}$;
- перепад температур в тепловой сети $\delta\tau'_0 = 80^{\circ}\text{C}$;

Разность температур в местной системе отопления определяется по формуле (4.10):

$$\theta'_0 = \tau_{03} - \tau_{02}, \quad (4.10)$$

$$\theta'_0 = 90 - 75 = 25^{\circ}\text{C}$$

Температурный напор прибора системы отопления (4.11):

$$\Delta t'_0 = \frac{\tau_{03} + \tau_{02}}{2} - t_e, \quad (4.11)$$

$$\Delta t'_0 = \frac{95 + 70}{2} - 20 = 62,5^{\circ}\text{C}$$

Найдем расчетные температуры в подающем и обратном трубопроводах по формулам (4.12) и (4.13) соответственно:

$$\tau_{01} = t_e + \Delta t'_0 \cdot \bar{Q}_0^{0,8} + \bar{Q}_0 (\delta \tau'_0 - 0,5 \theta'_0), \quad (4.12)$$

$$\tau_{02} = t_e + \Delta t'_0 \cdot \bar{Q}_0^{0,8} - 0,5 \bar{Q}_0 \theta'_0, \quad (4.13)$$

где τ_{01} – температура в подающем трубопроводе, $^{\circ}\text{C}$;

τ_{02} – температура в обратном трубопроводе, $^{\circ}\text{C}$;

\bar{Q}_0 – отношение тепловой нагрузки к расчетному значению.

Отношение тепловой нагрузки к расчетному значению найдем по формуле (4.14) :

$$\bar{Q}_0 = Q_o / Q'_o = \frac{t_e - t_n}{t_e - t_{но}}, \quad (4.14)$$

Тогда нагрузка на отопление при различных температурах наружного воздуха (4.15):

$$Q_o = Q'_o \cdot \bar{Q}_0, \quad (4.15)$$

Результаты расчета для остальных температур наружного воздуха представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Расчетные значения температур в подающем и обратном трубопроводах для различных температур наружного воздуха

$t_n, ^{\circ}\text{C}$	\bar{Q}_0	$Q_o, \text{МВт}$	$\tau_{01}, ^{\circ}\text{C}$	$\tau_{02}, ^{\circ}\text{C}$
1	2	3	4	5
+8	0,22	97,45	52,36	34,59
+5	0,28	121,82	59,90	37,68
0	0,37	162,42	72,14	42,51
-5	0,46	203,03	84,08	47,05
-10	0,56	243,63	95,80	51,36

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5
-15	0,65	284,24	107,34	55,49
-20	0,74	324,84	118,73	59,47
-25	0,83	365,45	130,00	63,33
-30	0,93	406,06	141,15	67,07
-34	1,00	438,54	150,00	70,00

По полученным данным построим температурный график (рисунок 4.2), делая подрезку (температура воды в подающем трубопроводе должна быть не ниже 65°C).

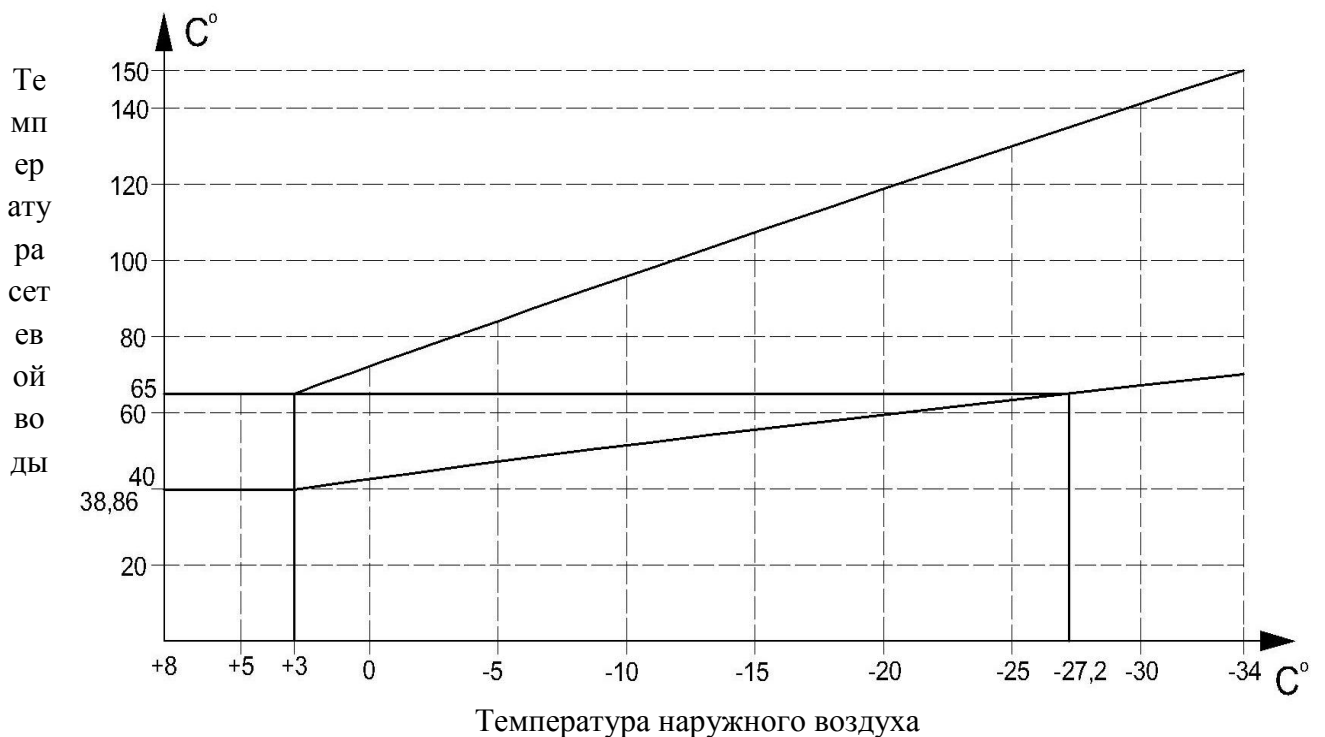


Рисунок 4.2 – Температурный график при качественном регулировании по отопительной нагрузке в ЗСТС

По графику определяем:

$$t_{ни} = +3^{\circ}\text{C}$$

$$t_{н2} = -27,2^{\circ}\text{C}$$

$$\tau''_{01} = 65^{\circ}\text{C}$$

$$\tau''_{02} = 38,88^{\circ}\text{C}$$

Расход воды на отопление в диапазоне температур $t_n < t_{ни}$ (4.16):

$$G_o = G'_o = \frac{Q'_o}{c_p \cdot \delta\tau'_o}, \quad (4.16)$$

$$G'_0 = \frac{438,54 \cdot 10^3}{4,19 \cdot 80} = 1308,3 \text{ кг/с};$$

при $t_n > t_{ни}$ (4.17):

$$G_0 = G_0^{+8} = \frac{Q_0^{+8}}{c_p (\tau_{01}'' - \tau_{02}'')}, \quad (4.17)$$

$$G_0^{+8} = \frac{97,45 \cdot 10^3}{4,19(65 - 38,88)} = 890,42 \text{ кг/с}$$

Расход воды на вентиляцию в диапазоне температур $t_n < t_{ни}$ (4.18):

$$G_\epsilon = G'_\epsilon = \frac{Q'_\epsilon}{c_p \cdot \delta\tau'_0}, \quad (4.18)$$

$$G'_\epsilon = \frac{79,97 \cdot 10^3}{4,19 \cdot 80} = 238,57 \text{ кг/с}$$

при $t_n > t_{ни}$ (4.19):

$$G_\epsilon = G_\epsilon^{+8} = \frac{Q_\epsilon^{+8}}{c_p (\tau''_{01} - \tau''_{02})}, \quad (4.19)$$

$$G_\epsilon^{+8} = \frac{17,76 \cdot 10^3}{4,19(65 - 38,88)} = 162,27 \text{ кг/с}$$

Результаты расчета для остальных температур представлены в таблице 4.3

Таблица 4.3 – Расчетные значения расходов воды на вентиляцию и отопление для различных температур наружного воздуха

Температура наружного воздуха										
$t_n, ^\circ\text{C}$	8	$t_{ни}$	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-34
Расход сетевой воды										
$G_\epsilon, \text{ кг/с}$	162,27	238,57	238,57	238,57	238,57	238,57	238,57	238,57	238,57	238,57
$G_0, \text{ кг/с}$	890,4	1308,3	1308,3	1308,3	1308,3	1308,3	1308,3	1308,3	1308,3	1308,3
$\Sigma G, \text{ кг/с}$	1052,7	1546,8	1546,8	1546,8	1546,8	1546,8	1546,8	1546,8	1546,8	1546,8

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						21

Построим график (рисунок 4.3) расходов воды на отопление и вентиляцию:

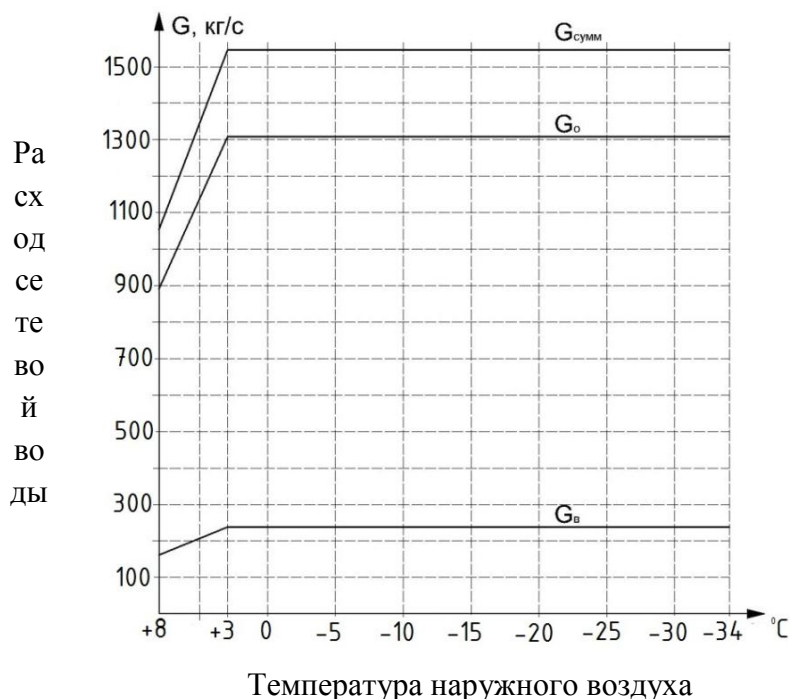


Рисунок 4.3 – Расходы воды при качественном регулировании по отопительной нагрузке в ЗСТС

4.2 Тепловой расчет котельного агрегата КВ-ГМ-100

Для определения расхода топлива, КПД котельного агрегата, составим тепловой баланс и произведем тепловой расчет котла. В графической части представлены поперечный и продольный разрез котла КВ-ГМ-100.

Поверочный расчет производят для оценки показателей экономичности и надежности агрегата при работе на заданном топливе, выявления необходимых реконструктивных мероприятий, выбора вспомогательного оборудования и получения исходных материалов для проведения расчетов: аэродинамического, гидравлического, температур металла и прочности труб, коррозии. При конструктивном расчете определяют размеры топки и размеры поверхностей нагрева отдельных элементов агрегата, необходимые для обеспечения номинальной теплопроизводительности. Конструктивный расчет также дает исходные материалы для выбора вспомогательного оборудования и для аэродинамического, гидравлического и прочностного расчета [4].

Исходные данные

Состав природного газа газопровода Бухара-Урал: CH_4 – 94,2%, C_2H_6 – 2,5%, C_3H_8 – 0,4%, C_4H_{10} – 0,2%, C_5H_{12} – 0,1%, N_2 – 2,6%; [25]

Плотность газа при температуре 0°C и давлении 101,3 кПа, $\rho = 0,729 \text{ кг/м}^3$;

Производительность котла: $Q_k = 116 \text{ МВт}$;

Температуры теплоносителя: $t_1 = 150^\circ \text{C}, t_2 = 70^\circ \text{C}$;

Температура холодного воздуха: $t_{х.в.} = 20^\circ \text{C}$;

Полная высота топки: $H_m = 9,58 \text{ м}$;

Суммарная площадь лучевоспроизводящей поверхности: $H_l = 325 \text{ м}^2$;

Полная площадь стен топочной камеры: $F_{cm} = 331,4 \text{ м}^2$;

Объем топочной камеры: $V_m = 388 \text{ м}^3$ [26].

4.2.1 Расчет объемов продуктов сгорания топлива

Коэффициент избытка воздуха принимаем $\alpha = 1,1$

Теоретический объем воздуха, необходимый для сжигания 1 кг топлива при $\alpha = 1$ определяется по формуле (4.20):

$$V^0 = 0,0476 \cdot \left[0,5 \cdot CO + 0,5 \cdot H_2 + 1,5H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) \cdot C_m H_n - O_2 \right], \quad (4.20)$$

$$V^0 = 0,0476 \cdot [2 \cdot 94,2 + 3,5 \cdot 2,5 + 5 \cdot 0,4 + 6,5 \cdot 0,2 + 8 \cdot 0,1] = 9,5795 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретические объемы продуктов сгорания:

– Объем двухатомных газов равен теоретическому объему азота (4.21):

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,01 \cdot N_2, \quad (4.21)$$

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot 9,5795 + 0,01 \cdot 2,6 = 7,5938 \text{ м}^3/\text{кг}$$

– Объем трехатомных газов (4.22):

$$V_{RO_2}^0 = 0,01 \cdot (CO_2 + CO + H_2S + \sum m \cdot C_m H_n), \quad (4.22)$$

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

– Объем водяных паров (4.23):

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot (H_2S + H_2 + \sum 0,5 \cdot n \cdot C_m H_n + 0,124 \cdot d_{ГТЛ}) + 0,0161 \cdot V^0, \quad (4.23)$$

где $d_{ГТЛ} = 10 \text{ г}/\text{м}^3$ – влагосодержание газообразного топлива, отнесенное к 1 м^3 сухого газа.

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

$$V_{H_2O}^0 = 0,1 \cdot (2 \cdot 94,2 + 3 \cdot 2,5 + 4 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,2 + 6 \cdot 0,1 + 0,124 \cdot 10) + \\ + 0,0161 \cdot 9,4938 = 2,157 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Действительный объем водяных паров (4.24):

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^0, \quad (4.24)$$

$$V_{H_2O} = 2,157 + 0,0161 \cdot (1,1 - 1) \cdot 9,5795 = 2,173 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Действительный объем дымовых газов (4.25):

$$V_2 = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O} + (\alpha - 1) \cdot V^0, \quad (4.25)$$

$$V_2 = 1,017 + 7,5938 + 2,173 + (1,1 - 1) \cdot 9,5795 = 11,742 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Объемные доли водяных паров(4.26):

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_2}, \quad (4.26)$$

$$r_{H_2O} = \frac{2,173}{11,742} = 0,185$$

Объемные доли трехатомных газов(4.27):

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_2}, \quad (4.27)$$

$$r_{RO_2} = \frac{1,017}{11,742} = 0,0866$$

Суммарные доли водяных паров и трехатомных газов(4.28):

$$r_{II} = r_{H_2O} + r_{RO_2}, \quad (4.28)$$

$$r_{II} = 0,185 + 0,0866 = 0,271$$

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

4.2.2 Расчет энтальпии продуктов сгорания газа и воздуха

Расчет энтальпий при различных температурах газа сводим в таблицу 4.4

Таблица 4.4 – Энтальпия продуктов сгорания в газоходах котла

Температура °С	$V^0 = 9,58 \text{ м}^3$	$V_{RO_2} = 1,02 \text{ м}^3$	$V_{N_2} = 7,59 \text{ м}^3$	$V_{H_2O} = 2,157 \text{ м}^3$	$I_c^0 = I_{RO_2} + I_{N_2} + I_{H_2O}$
	$I_c^0 = V^0 \cdot (c\mathcal{G})_c$	$I_{RO_2}^0 = V_{RO_2} \times (c\mathcal{G}) \cdot RO_2$	$I_{N_2}^0 = V_{N_2} \times (c\mathcal{G}) \cdot N_2$	$I_{H_2O}^0 = V_{H_2O} \times (c\mathcal{G}) \cdot H_2O$	
100	1264,49	171,87	987,19	328,13	1487,20
200	2548,15	363,07	1974,39	660,61	2998,07
300	3860,54	568,50	2976,77	1006,12	4551,40
400	5192,09	785,12	4001,94	1360,33	6147,39
500	6552,38	1012,93	5042,29	1725,40	7780,62
600	7950,99	1242,77	6105,42	2101,34	9449,54
700	9378,33	1485,84	7183,74	2492,49	11162,07
800	10824,84	1735,00	8300,03	2901,03	12936,06
900	12271,34	1984,17	9439,10	3311,73	14735,00
1000	13756,16	2239,43	10585,76	3748,52	16573,71
1100	15279,30	2498,77	11732,43	4185,30	18416,50
1200	16802,44	2763,19	12871,50	4630,78	20265,46
1400	19887,04	3295,08	15255,95	5558,67	24109,70
1600	23019,54	3831,04	17640,41	6521,33	27992,78
1800	26142,46	4376,15	20062,83	7514,42	31953,40
2000	29351,59	4925,33	22508,04	8531,41	35964,77
2200	32560,72	5478,58	24983,62	9559,26	40021,46

4.2.3 Характеристики продуктов сгорания и воздуха

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

Коэффициент избытка воздуха для горелки ПГМГ-40 $\alpha = 1,05$, соответственно коэффициент избытка воздуха на входе в топку $\alpha = 1,05$.

По данным, которые приведены в нормативных значениях присосов воздуха по газоходам[4], присосы воздуха по газоходу $\Delta\alpha$ и расчётные коэффициент избытка воздуха в газоходах α приведены в таблице 4.5

Таблица 4.5 – Присосы воздуха по газоходу и расчетные коэффициенты избытка воздуха

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

Наличие присосов воздуха приводит к тому, что объем продуктов сгорания в каждом газоходе будет отличаться от теоретического, поэтому необходимо рассчитать реальный объем газов по газоходам и объемные доли газов. Так как присосы воздуха не содержат трехатомных газов, то объем этих газов V_{RO_2} от коэффициента избытка воздуха, не зависит и во всех газоходах, остается постоянным и равен теоретическому. В таблице 4.6 приведен расчет продуктов сгорания в поверхностях нагрева.

Таблица 4.6 – Характеристика продуктов сгорания в поверхностях нагрева

Величина	Единица	Участки газохода	
		Топка	Конвективный пучок
Коэф. избытка воздуха	–	1,14	1,2
V_{RO_2}	м ³ /кг	1,0170	1,0170
$V_{N_2} = V_{N_2}^0 + (a - 1) \cdot V^0$	м ³ /кг	8,9349	9,5097
$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (a - 1) \cdot V^0$	м ³ /кг	2,1792	2,1885
$V_z = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O}$	м ³ /кг	12,1312	12,7152
$r_{RO_2} = V_{RO_2} / V_z$	–	0,0838	0,08
$r_{H_2O} = V_{H_2O} / V_z$	–	0,1796	0,1721
$r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O}$	–	0,2635	0,2521

Энтальпия дымовых газов на 1 м^3 топлива, кДж/м^3 (4.29):

$$I_2 = I_2^0 + (\alpha - 1) \cdot I_B^0, \quad (4.29)$$

Энтальпия газов при $\alpha=1$ и температуре $\theta, ^\circ\text{C}$ кДж/м^3 (4.30):

$$I_2^0 = V_{\text{RO}_2} \cdot (\mathcal{G})_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 \cdot (c\mathcal{G})_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}^0 \cdot (c\mathcal{G})_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (4.30)$$

$$I_2^0 = 1,017 \cdot 171,7 + 7,5938 \cdot 130,1 + 2,157 \cdot 150,5 = 1487,296 \text{ кДж/м}^3$$

где $(\mathcal{G})_{\text{CO}_2}, (c\mathcal{G})_{\text{N}_2}, (c\mathcal{G})_{\text{H}_2\text{O}}$ – энтальпии углекислого газа, азота, водяных паров.

Энтальпия воздуха при $t_{x.в} = (\mathcal{G})_B$ определяется по формуле (4.31):

$$I_B^0 = V_0 \cdot (\mathcal{G})_B, \quad (4.31)$$

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

$$I_B^0 = 9,5795 \cdot 132,7 = 1271,2 \text{ кДж/м}^3$$

Энтальпия продуктов сгорания после топки:

$$I_2 = 1487,296 + 1271,2 \cdot (1,14 - 1) = 1665,26 \text{ кДж/м}^3$$

Расчет энтальпий при различных температурах газов сводим в таблицу 4.7

Таблица 4.7 – Энтальпия продуктов сгорания в газоходах котла

$t, ^\circ\text{C}$	$I_B^0, \text{кДж/м}^3$	$I_2^0, \text{кДж/м}^3$	$I_2 = I_2^0 + (\alpha - 1) \cdot I_B^0, \text{кДж/м}^3$			
			$a_m'' = 1,14$		$a_m'' = 1,2$	
			I	ΔI	I	ΔI
1	2	3	4	5	6	7
100	1264,49	1487,20	1472,70	–	1561,93	–
200	2548,15	2998,07	2967,88	1495,17	3147,76	1585,82
300	3860,54	4551,40	4497,73	1529,86	4770,82	1623,05
400	5192,09	6147,39	6052,72	1554,99	6421,56	1650,74
500	6552,38	7780,62	7641,66	1588,94	8108,50	1686,93
600	7950,99	9449,54	9273,91	1632,25	–	–
700	9378,33	11162,07	10941,02	1667,10	–	–

Продолжение таблицы 4.7

1	2	3	4	5	6	7
800	10824,84	12936,06	12635,88	1694,86	–	–
900	12271,34	14735,00	14334,24	1698,36	–	–
1000	13756,16	16573,71	16076,48	1742,24	–	–
1100	15279,30	18416,50	17857,61	1781,13	–	–
1200	16802,44	20265,46	19639,61	1781,99	–	–
1400	19887,04	24109,70	23262,40	3622,79	–	–
1600	23019,54	27992,78	26938,52	3676,12	–	–
1800	26142,46	31953,40	30615,93	3677,40	–	–
2000	29351,59	35964,77	34386,66	3770,72	–	–
2200	32560,72	40021,46	38163,72	3777,068	–	–

4.2.4 Тепловой баланс котельного агрегата и расход топлива

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

На основании теплового баланса [27] определяют расход топлива и вычисляют коэффициент полезного действия, эффективность работы котельного агрегата.

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

Расчет теплового баланса котла представлен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Расчет теплового баланса котла

Наименование	Обозначение	Расчетная формула или способ определения	Ед. измерения	Расчет
1	2	3	4	5
Располагаемая теплота сгорания топлива	Q_p^p	$Q_p^p + Q_{в.н.} + i_{тл}$	кДж/м ³	36170+0+0=36170

Продолжение таблицы 4.8

1	2	3	4	5
Потеря теплоты от химической неполноты сгорания топлива	q_3	Табл. 4-3 [4]	%	0,5
Потеря теплоты от механической неполноты сгорания топлива	q_4	Табл. 4-3 [4]	%	0
Температура уходящих газов	g_{yx}	По выбору, табл. 1-3[4]	$^{\circ}C$	144
Энтальпия уходящих газов	I_{yx}	По I-й таблице	кДж/кг	2259,7
Температура воздуха в котельной	$t_{xв}$	По выбору	$^{\circ}C$	30
Теоретическая энтальпия воздуха в котельной	$I_{x.в.}^o$	По I-й таблице	кДж/кг	373,6
Потеря теплоты с уходящими газами	q_2	$\frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} \cdot I_{x.в.}^o) \cdot (100 - q_4)}{Q_p^p}$	%	$\frac{(2559,9 - 1,2 \cdot 373,6) \cdot (100 - 0)}{36170} = 5$
Потеря теплоты от наружного охлаждения	q_5	По рис. 3-1[4]	%	1,9
Сумма тепловых потерь	$\sum q$	$q_5 + q_4 + q_3 + q_2$	%	$1,9 + 0 + 0,5 + 5 = 7,4$
КПД котла	$\eta_{ка}$	$100 - \sum q$	%	$100 - 7,4 = 92,6$
Коэффициент сохранения теплоты	φ	$1 - \frac{q_5}{\eta_{ка} + q_5}$	-	$1 - \frac{1,9}{92,6 + 1,9} = 0,98$
Температура воды на входе в котел	t	По условию	$^{\circ}C$	70
Энтальпия воды на входе в котел	I'_e	$I' = t' \cdot C_p$	кДж/кг	$70 \cdot 4,19 = 294,6$
Температура воды на выходе из котел	t''	По техническим характеристикам котла	$^{\circ}C$	150
Энтальпия воды на выходе из котла	I''_e	$I''_e = t'' \cdot C_p$	кДж/кг	$150 \cdot 4,19 = 633,1$
Расход питательной воды через котел	G	По техническим характеристикам котла	кг/с	343,3
Расход топлива на котел	B	$\frac{G_c \cdot c \cdot (t_1 - t_2)}{Q_p^H \cdot \eta}$	м ³ /с	$\frac{343,3 \cdot 4,19 \cdot (150 - 70)}{36170 \cdot 0,926} = 3,43$

4.2.5 Поверочный расчет топки

При поверочном расчете топки по ее тепловым и конструктивным характеристикам определяют температуру газов на выходе из топки ϑ_m'' .

Результаты расчета топки сведем в таблицу 4.9.

Таблица 4.9– Поверочный расчет топки

Величина	Обозначение	Расчетная формула или способ определения	Ед.измерения	Расчет
1	2	3	4	5
Суммарная площадь лучевоспроизводящей поверхности	H_l	По конструктивным характеристикам котла	м ²	325
Полная площадь стен топочной камеры	F_{cm}	По конструктивным характеристикам котла	м ²	331,4
Объем топочной камеры	V_m	По конструктивным характеристикам котла	м ³	388
Коэффициент загрязнения	ξ	[4, табл. 6.1]	-	0,65
Коэффициент тепловой эффективности экранов	ψ	$\xi \cdot \frac{H_l}{F_{cm}}$	-	$0,65 \cdot \frac{325}{331,4} = 0,63$
Эффективная толщина излучающего слоя	S	$3,6 \cdot \frac{V_m}{F_{cm}}$	м	$3,6 \cdot \frac{388}{331,4} = 4,21$
Полная высота топки	H_m	По конструктивным размерам котла	м	9,58
Высота расположения горелок	h_2	По конструктивным размерам котла	м	1,5
Относительный уровень расположения горелок	x_m	$\frac{h_2}{H_m}$	-	$\frac{1,5}{9,58} = 0,157$
Коэффициент избытка воздуха на выходе	α_m	[4,табл. 1-1]	-	1,14
Количество теплоты вносимую топку воздухом	Q_6	$I_{x.в.} \cdot (\alpha_m - \Delta\alpha_m) + \Delta\alpha_m \cdot I_{x.в.}^0$	кДж/кг	210

Продолжение таблицы 4.9

1	2	3	4	5
Полезное тепловыделение топки	Q_m	$Q_p^p \cdot \frac{100 - q_3}{100} + Q_6$	кДж/кг	$36170 \cdot \frac{100 - 0,5}{100} + 210 = 36199$
Адиабатическая температура горения	g_a	Принимается при Q_m	°С	1900
Температура газов на выходе из топки	g_m''	По выбору	°С	1060
Энтальпия газов на выходе из топки	I_m''	Табл. 4.7	кДж/кг	17145,16
Средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания	$V_{c_{cp}}$	$\frac{Q_m - I_m''}{g_a - g_m''}$	кДж/(кг · К)	$\frac{36415,05 - 17145,16}{1900 - 1060} = 22,6$
Объемная доля: Водяных паров Трехатомных газов	r_{H_2O}	Табл. 4.6	-	0,0838
	r_{RO_2}			0,1796
Суммарная объемная доля трехатомных газов	r_n	$r_{RO_2} + r_{H_2O}$	-	0,2635
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	k_2	[4, номограмма 2]	$\frac{1}{m \cdot \text{МПа}}$	4,56
Коэффициент ослабления лучей для несветящихся трехатомных газов	$k_{нсв}$	$k_2 \cdot r_n$	$\frac{1}{m \cdot \text{МПа}}$	$4,56 \cdot 0,2635 = 1,2$
Степень черноты топочной среды для несветящегося газового пламени	$a_{нсв}$	$1 - e^{-k_{нсв} \cdot P \cdot s}$	-	$1 - e^{-1,2 \cdot 0,1 \cdot 5,89} = 0,39$
Соотношение между содержанием углерода и водорода в рабочей массе топлива	$\frac{C_p}{H_p}$	$0,12 \cdot \sum \frac{m}{n} \cdot C_m H_n$	-	$0,12 \cdot (0,25 \cdot 94,2 + 0,33 \cdot 2,5 + 0,375 \cdot 0,4 + 0,4 \cdot 0,2 + 0,416 \cdot 0,1) = 2,9586$
Коэффициент ослабления лучей сажей	$k_{саж}$	$0,3 \cdot (2 - \alpha_m) \times \left(1,6 \cdot \frac{g_m''}{1000} - 0,5 \right) \cdot \frac{C^p}{H^p}$	-	$0,3 \cdot (2 - 1,14) \times \left(1,6 \cdot \frac{1050}{1000} - 0,5 \right) \cdot 2,9586 = 0,852$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

13.03.01.2018.085.24 ПЗ

Лист

31

Окончание таблицы 4.9

1	2	3	4	5
Коэффициент ослабления лучей сажистыми частицами	$k_{саж}$	$0,3 \cdot (2 - \alpha_m) \times \left(1,6 \cdot \frac{g_m''}{1000} - 0,5\right) \cdot \frac{C^p}{H^p}$	-	$0,3 \cdot (2 - 1,14) \times \left(1,6 \cdot \frac{1050}{1000} - 0,5\right) \cdot 2,9568 = 0,852$
Коэффициент ослабления лучей для светящегося газового пламени	$k_{св}$	$k_z \cdot r_n + k_{саж}$	$\frac{1}{m \cdot \text{МПа}}$	$4,56 \cdot 0,2635 + 0,852 = 2,11$
Степень черноты топочной среды для светящегося газового потока	$\alpha_{св}$	$1 - e^{-k_{св} \cdot p \cdot s}$	-	$1 - e^{-2,11 \cdot 0,1 \cdot 5,89} = 0,59$
Коэффициент заполнения топочного объема светящимися газами	m	Принимается	-	0,1
Степень черноты факела	α_ϕ	$m \cdot \alpha_{св} + (1 - m) \cdot \alpha_{нсв}$	-	$0,1 \cdot 0,59 + (1 - 0,1) \cdot 0,39 = 0,41$
Степень черноты топки	α_m	$\frac{\alpha_\phi}{\alpha_\phi + (1 - \alpha_\phi) \cdot \psi_{ср}}$	-	$\frac{0,39}{0,39 + (1 - 0,39) \cdot 0,89} = 0,53$
Тепловая нагрузка стен топки	q_F	$B_p \cdot \frac{Q_m}{F_{cm}}$	кВт/м ²	$3,47 \cdot \frac{36415,05}{331,4} = 379$
Температура газов на выходе из топки	g_m''	Рис 5–8 [4]	°С	1058
Энтальпия газов на выходе из топки	I_m''	Табл. 4.7	кДж/кг	17145,16
Общее тепловосприятие топки	$Q_m^л$	$\varphi \cdot (Q_m - I_m'')$	кДж/м ³	$0,98 \cdot (36415 - 17145,16) = 18672,9$
Тепловая нагрузка лучевоспринимающей поверхности	$q_l^{ср}$	$B_p \cdot \frac{Q_m^л}{H_l}$	кВт/м ²	$3,43 \cdot \frac{18672,9}{325} = 199,4$

4.2.6 Расчет фестона

Поверочный тепловой расчёт фестона сводится к определению количества тепла, воспринимаемого фестоном. Количество теплоты, воспринимаемое фестоном, рассчитывается по уравнению теплового баланса и по уравнению

теплопередачи. Результаты расчётов сравниваются, если расхождение результатов расчётов по уравнению теплового баланса и по уравнению теплопередачи не превышает 5%, то расчёт считается выполненным.

Конструктивно фестон состоит из труб заднего экрана, но размещенных с увеличенным поперечным $S_1 = 200 \div 300$ мм и продольным $S_2 = 250 \div 400$ мм шагами. При этом трубы фестона разводятся в несколько рядов $Z=2$. Иногда фестон выполняется из труб большего диаметра (около 100 мм), расположенных в один ряд ($S_2 = 400 \div 800$ мм).

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

Геометрические параметры фестона:

Геометрические параметры фестона принимаются по паспортным данным котла[26]:

- наружный диаметр труб $d_h = 63$ мм;
- число рядов труб по ходу движения газов $z_2 = 4$;
- поперечный шаг труб $s_1 = 256$ мм;
- продольный шаг труб $s_2 = 180$ мм;
- расположение труб - шахматное;
- размер поверхности нагрева $F_\phi = 126,9$ м²;
- живое сечение для прохода газов $f = 42,3$ м².

Расчёт энтальпии дымовых газов на выходе из фестона:

Температуру дымовых газов перед фестом принимаем равной температуре газов на выходе из топки(4.32):

$$g'_\phi = g''_m = 1060^\circ \text{C}, \quad (4.32)$$

$$h'_\phi = h''_m = 17145,16 \text{ кДж/кг}$$

Температура дымовых газов за фестом определяется по формуле (4.33):

$$g''_\phi = g'_\phi - \Delta g_\phi, \quad (4.33)$$

$$g''_\phi = 1058 - 60 = 998^\circ \text{C}$$

где принимаем $\Delta g_\phi = 60^\circ \text{C}$ – охлаждение газов в фестоне.

Энтальпия газов в фестоне:

$$h''_\phi = 16076,5 \text{ кДж/кг}$$

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

Расчёт теплоты, воспринимаемой фестоном, по уравнению теплового баланса (4.34):

$$Q_{\phi} = Q_{\sigma.\phi} + Q_{л.\phi}, \quad (4.34)$$

Теплота, отданная газами $Q_{\sigma.\phi}$, кДж/кг, рассчитывается по формуле (5.5) [28] по (уравнению теплового баланса) (4.35):

$$Q_{\sigma.\phi} = \phi (h'_{\phi} - h''_{\phi} + \Delta\alpha \cdot h^0_{прис}), \quad (4.35)$$

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

h'_{ϕ}, h''_{ϕ} – энтальпия газов соответственно на входе в фестон и на выходе из фестона, кДж/кг;

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

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

$$Q_{\sigma.\phi} = 0,99 \cdot (17145,16 - 16076,5) = 1057,9 \text{ кДж/кг}$$

Теплота $Q_{л.\phi}$, кДж/кг, определена ранее (таб. 4.9), $Q_{л.\phi} = 973,5$ кДж/кг. Тепло, полученное фестоном излучением из топки:

$$Q_{л.\phi} = 0,74 \cdot 973,5 = 720,39 \text{ кДж/кг}$$

$$Q_{\phi} = 1057,9 + 720,39 = 1778,36 \text{ кДж/кг}$$

Расчёт теплоты Q_m , воспринимаемой фестоном, теплопередачей:

Количество тепла, кДж/кг, передаваемое фестоном по условию теплопередачи определяем по формуле (4.36):

$$Q_m = \frac{F_{\phi} \cdot K \cdot \Delta t}{10^3 \cdot B_p}, \quad (4.36)$$

где F – расчетная теплообменная поверхность фестона, м²;

K – коэффициент теплопередачи, Вт/м² · К;

Δt – усредненный по всей поверхности температурный напор °С;

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

B_p – расчетный расход топлива, кг/с.

Усредненный температурный напор определяем по рекомендациям, изложенным в [4], при неизменной температуре одной из сред.

Температуру пароводяной смеси в фестоне определяем по [4] как температуру насыщения при давлении в барабане котла $p_{бар} = 11$ МПа,

$$t_{\phi} = 313,86 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Большая разность температур определяется по формуле (4.37):

$$\Delta t_{\delta} = g'_{\phi} - t_{\phi}, \quad (4.37)$$

$$\Delta t_{\delta} = 1058 - 313,86 = 746,14 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Меньшая разность температур определяется по формуле (4.38):

$$\Delta t_{m} = g''_{\phi} - t_{\phi}, \quad (4.38)$$

$$\Delta t_{m} = 998 - 313,86 = 676,14 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Усредненный температурный, который определяется температурными напорами в начале канала и на выходе из канала, противоточная схема является наиболее эффективной по сравнению с другими схемами, находим по формуле [4] (4.39):

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{m}}{\ln(\Delta t_{\delta} / \Delta t_{m})}, \quad (4.39)$$

$$\Delta t = \frac{746,14 - 676,14}{\ln(746,14 / 676,14)} = 710,56$$

Расчетную скорость W_2 м/с, газов в фестоне определяем по формуле (6.7) [4] (4.40):

$$W_2 = \frac{B_p \cdot V_2 \cdot (\nu_{cp} + 273)}{F \cdot 273}, \quad (4.40)$$

где V_2 – полный объем газов при сжигании 1 кг топлива при 0,1 МПа и 0 °С, определяемый по среднему избытку воздуха в газоходе, м³/кг;

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

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

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

Среднюю температуру дымовых газов в газоходе находим по формуле (4.41):

$$g_{cp} = \frac{g_{\phi}' + g_{\phi}''}{2}, \quad (4.41)$$

$$g_{cp} = \frac{1058 + 990}{2} = 1025 \text{ °С}$$

$$W_2 = \frac{3,47 \cdot 10,51 \cdot (1025 + 273)}{42,3 \cdot 273} = 4,1 \text{ м/с}$$

Коэффициент теплопередачи K , Вт/(м²·К) определяем по следующей формуле (4.42):

$$K = \psi \cdot \alpha_1, \quad (4.42)$$

где ψ – коэффициент тепловой эффективности, принимается по **табл. 6.4 [4]**

α_1 – определяется по формуле (6.5) [4] (4.43):

$$\alpha_1 = \xi \cdot (\alpha_k + \alpha_l), \quad (4.43)$$

где ξ – коэффициент использования поверхности нагрева, учитывает неравномерное омывание поверхности газами (см. стр. 119 [4]), принимаем $\xi = 1$;

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

$\alpha_l = 14,3$ – коэффициент теплоотдачи излучением продуктов сгорания Вт/(м²·К).

$$\alpha_1 = (105 + 14,3) = 119,3$$

$$K = 0,68 \cdot 119,3 = 81,124 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Количество тепла, передаваемое фестону по условию теплопередачи определяем по формуле (4.44):

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

$$Q_m = \frac{F_\phi \cdot K \cdot \Delta t}{10^3 \cdot B_p}, \quad (4.44)$$

$$Q_m = \frac{126,9 \cdot 81,124 \cdot 710,56}{10^3 \cdot 3,47} = 1848,2 \text{ кДж/кг}$$

Невязка баланса теплоты для фестона рассчитывается по формуле (4.45):

$$|\Delta Q_\phi| = \frac{|Q_m - Q_\phi|}{Q_m} \cdot 100\% \quad (4.45)$$

$$|\Delta Q_\phi| = \frac{|1848,2 - 1778,6|}{1848,2} \cdot 100\% = 3,7$$

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

4.2.7 Расчет конвективного пучка

Конвективными называют такие поверхности нагрева, в которых процесс передачи теплоты осуществляется путем конвективного теплообмена. Конвективные пучки получают теплоту не только путем конвективного теплообмена, но и теплоту прямого излучения топки. При расчете такой поверхности нагрева используют методику расчета конвективных поверхностей нагрева с учетом тепловосприятости прямого излучения топки.

Тепловой расчет конвективного пучка представлен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Расчет конвективного пучка

Величина	Обозначение	Формула или способ определения	Ед. изм.	Ответ
1	2	3	4	5
Полная площадь поверхности нагрева	H	По конструктивным размерам	м ²	2382
Диаметр труб	d	По конструктивным размерам	мм	28
Поперечный шаг труб	s ₁	По конструктивным размерам	мм	64

Продолжение таблицы 4.10

1	2	3	4	5
Продольный шаг труб	s_2	По конструктивным размерам	мм	40
Относительный поперечный шаг труб	s_1/d	По конструктивным размерам	-	2,28
Относительный продольный шаг труб	s_2/d	По конструктивным размерам	-	1,43
Эффективная толщина излучающего слоя	s	$0,9 \left(\frac{4S_1 \cdot S_2}{\pi \cdot d^2} - 1 \right) \cdot d$	м	$0,9 \left(\frac{4 \cdot 64 \cdot 40}{3,14 \cdot 28^2} - 1 \right) \cdot 28 = 0,079$
Температура газа перед конвективным пучком	ϑ'	ϑ_m'' – из расчета фестоа	°С	998
Энтальпия газа перед конвективным пучком	I'	I_m'' – из расчета топки	кДж/кг	16076
Температура газа за конвективным пучком	ϑ''	По характеристикам котла	°С	144
Энтальпия газа за конвективным пучком	I''	из расчета топки	кДж/кг	2259,7
Количество теплоты, отданное конвективному пучку	Q_r	$\varphi \cdot (I' - I'')$	кДж/кг	$0,98 \cdot (16076,5 - 2259,7) = 13640,45$
Средняя температура газов	ν_{cp}	$0,5 \cdot (\nu' + \nu'')$	°С	$0,5 \cdot (988 + 144) = 572$
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	α_k	[4,рис П.5]	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	105
Степень черноты излучающей среды	a	[4,ном.17]	-	0,228
Коэффициент тепловой эффективности	ψ	[4,табл. 7.1]	-	0,8

Окончание таблицы 4.10

1	2	3	4	5
Коэффициент теплоотдачи излучением	α_l	[4, ном.18]	–	14,3
Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	α_1	$\xi(\alpha_l + \alpha_k)$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	119,3
Теплосприятие конвективного пучка	ε_0	$\psi \cdot \alpha_1$	$\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	86
Средний температурный напор	Δt	Табл 6-1[4]	°С	215
Суммарное теплосприятие газохода	Q_m	$\frac{k \cdot H \cdot \Delta t}{4,19 \cdot B_p \cdot 1000}$	кДж/кг	$\frac{93,8 \cdot 2385 \cdot 215}{4,19 \cdot 3,47 \cdot 1000} = 13861,2$
Расхождение расчетных теплосприятий	ΔQ	$\frac{Q_m - Q_z}{Q_m} \cdot 100$	%	1,6

4.2.8 Сводная таблица теплового расчета котла и расчетная невязка теплового баланса

В таблицу 4.11 сведены результаты теплового расчета котла.

Таблица 4.11 – Тепловой баланс котла

Величина	Обозн-ние	Ед-ца	Результат
1	2	3	4
Располагаемая теплота топлива	Q_p^p	кДж/кг	36170
Температура уходящих газов	ϑ_{yx}	°С	144
Потери теплоты с уходящими газами	q_2	%	5
КПД	η	%	92,6
Расход топлива на котел	B_p	м ³ /с	3,43
Топка			
Теплота, вносимая воздухом	$Q_в$	кДж/кг	210
Полезное тепловыделение	Q_m	кДж/кг	36199
Температура газов на выходе из топки	ϑ_m''	°С	1060

Продолжение таблицы 4.11

1	2	3	4
Энтальпия газов на выходе из топки	I_m''	кДж/кг	17145,2
Тепловосприятие	Q_l	кДж/кг	18672,9
Фестон			
Температура газов на входе	g'	°С	1058
Температура газов на выходе	g''	°С	998
Энтальпия газов на входе	I'	кДж/кг	17145,16
Энтальпия газов на выходе	I''	кДж/кг	16076,5
Тепловосприятие	Q_ϕ	кДж/кг	1068,66
Конвективный пучок			
Температура газов на входе	g'	°С	998
Температура газов на выходе	g''	°С	144
Энтальпия газов на входе	I'	кДж/кг	16076,5
Энтальпия газов на выходе	I''	кДж/кг	225
Тепловосприятие	Q_κ	кДж/кг	18672,9

4.2.9 Невязка

Расчетная невязка теплового баланса(4.46):

$$\Delta Q = [Q_p^p \cdot \eta - (Q + Q_\phi + Q_\kappa)] \quad (4.46)$$

$$\Delta Q = [36170 \cdot 0,926 - (18672,9 + 1068,66 + 13640,3)] = 111,56$$

Невязка (4.47):

$$X = \frac{\Delta Q}{Q_p^p} \cdot 100\% \quad (4.47)$$

$$X = \frac{111,56}{36170} \cdot 100\% = 0,3$$

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

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

4.3 Аэродинамический расчет

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

Из теплового расчета котельного агрегата принимается теоретический объем воздуха, подаваемого на горение V^0 , расход топлива B_p и температура воздуха t_g : $V^0 = 9,5795 \text{ м}^3/\text{м}^3$, $B_p = 3,47 \text{ м}^3/\text{с}$, $t_g = 22,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

Площади поперечного сечения воздухопровода для двух характерных значений скоростей движения воздуха $w_g = 8$ и $w_g = 12 \text{ м/с}$ рассчитывается по формуле (4.48):

$$f_{(w)} = \frac{V^0 \cdot B_p \cdot (t_g + 273)}{w_g \cdot 273}, \quad (4.48)$$

$$f_{(8)} = \frac{9,5795 \cdot 3,47 \cdot (22,8 + 273)}{8 \cdot 273} = 4,5 \text{ м}^2$$

$$f_{(12)} = \frac{9,5795 \cdot 3,47 \cdot (22,8 + 273)}{12 \cdot 273} = 3 \text{ м}^2$$

Прямоугольные каналы из листовой стали 1600x2000 толщиной $\delta = 0,7 \text{ мм}$, площадь поперечного сечения $f = 3,2 \text{ м}^2$.

Действительная скорость движения воздуха в воздухопроводах определяется по формуле (4.49):

$$w_{d.g} = \frac{V^0 \cdot B_p \cdot (t_g + 273)}{f \cdot 273}, \quad (4.49)$$

$$w_{d.g} = \frac{9,5795 \cdot 3,47 \cdot (22,8 + 273)}{3,2 \cdot 273} = 11,25 \text{ м/с}$$

Сопротивление трения в воздуховоде (4.50):

$$\Delta h_{mp} = \lambda \cdot \frac{l}{d_3} \cdot h_d, \quad (4.50)$$

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

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

l – длина воздухопровода от всасывающего патрубка до котла, $l = 55$ м;

h_d – динамический напор, определяемый по скорости воздуха $w_{d.в.} = 11,25$ м/с и температуре $t_g = 22,8$ °С, $h_d = 90$ Па [6, рис.3];

$d_э$ – эквивалентный диаметр, определяется по формуле (4.51):

$$d_э = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}, \quad (4.51)$$

где a и b – размеры сторон прямоугольного сечения, м

$$d_э = \frac{2 \cdot 1,6 \cdot 2,0}{1,6 + 2,0} = 1,77 \text{ м}$$

$$\Delta h_{mp.} = 0,02 \cdot \frac{55}{1,77} \cdot 90 = 56 \text{ Па}$$

Местные сопротивления воздухопровода (4.52):

$$\Delta h_m = \sum \xi \cdot h_d, \quad (4.52)$$

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

Сумма всех сопротивлений определяется по формуле (4.53):

$$\sum \xi = \xi_{вх} + \xi_{нат} + \xi_{пов} + \xi_{диф}, \quad (4.53)$$

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

$\xi_{нат}$ – коэффициент сопротивления патрубка для забора воздуха, при отсутствии заслонок, $\xi_{вх} = 0,9$;

$\xi_{пов.}$ – коэффициент сопротивления поворота $\xi_{пов.} = 1$, для 8 поворотов – $\xi_{пов.} = 8$;

$\xi_{диф.}$ – коэффициент сопротивления диффузоров (4.54):

$$\xi_{диф} = \phi_p \cdot \xi_{вых}, \quad (4.54)$$

где ϕ_p – коэффициент расширения, определяется в зависимости от угла раскрытия диффузора $\alpha = 35^\circ$, $\phi_p = 1$ [29, Рис. П. 2.5.];

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

$\xi_{\text{вх}}$ – коэффициент сопротивления, соответствующий резкому увеличению сечения, определяется по отношению меньшего к большему сечению канала $F_M / F_G = 0,219$, $\xi_{\text{вх}} = 0,7$

$$\xi_{\text{диф}} = 1 \cdot 0,7 = 0,7$$

$$\sum \xi = 0,9 + 0,5 + 8 + 0,7 = 10,1$$

$$\Delta h_M = 10,1 \cdot 56 = 565,6 \text{ Па}$$

Сопротивление воздуховода холодного воздуха (4.55):

$$\Delta h_g = \Delta h_M + \Delta h_{mp}, \quad (4.55)$$

$$\Delta h_g = 565,6 + 56 = 621,6 \text{ Па}$$

Суммарное сопротивление воздушного тракта (4.56):

$$\Delta H_g = \Delta h_g + \Delta h_{mp} + \Delta h_M, \quad (4.56)$$

$$\Delta H_g = 565,6 + 56 + 621,6 = 1243,2 \text{ Па}$$

Перепад полных давлений по тракту (4.57):

$$\Delta H_n = \Delta H_g - h'_m, \quad (4.57)$$

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

$$\Delta H_n = 1243,2 - 28 = 1215,2 \text{ Па}$$

4.3.1 Выбор вентилятора

Производительность вентилятора (4.58):

$$Q_p = \beta_{np} \cdot B_p \cdot V^0 \cdot (\alpha_m - \Delta\alpha_m + \Delta\alpha_{gn}) \cdot \frac{t_{xg} + 273}{273}, \quad (4.58)$$

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

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

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

β_{np} – коэффициент запаса по производительности, $\beta_{np} = 1,1$ [6];

$$Q_p = 1,1 \cdot 3,47 \cdot 9,5795 \cdot (1,14 - 0,14) \cdot \frac{22,8 + 273}{273} = 39,62 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для обеспечения надежной работы котельной установки на один котел устанавливают 2 вентилятора. Производительность одного вентилятора (4.59):

$$Q_6 = \frac{Q_p}{2}, \quad (4.59)$$

$$Q_6 = \frac{39,62}{2} = 19,81 \text{ м}^3/\text{с}$$

Полное давление, которое должен развивать вентилятор (4.60):

$$H_6 = \beta_2 \cdot \Delta H_n, \quad (4.60)$$

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

$$H_6 = 1,1 \cdot 1215,2 = 1336,72 \text{ Па}$$

Вентилятор ВДН-20:

- производительность $P = 45,13 \text{ м}^3/\text{с}$;
- мощность электродвигателя $N = 326 \text{ кВт}$;
- частота вращения $n = 980 \text{ об/мин}$;
- максимальный КПД $\eta = 86\%$.

4.3.2 Аэродинамический расчет газового тракта котла

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

Соппротивление экономайзера:

$$\Delta h_{эк} = \Delta h_{zp} \cdot C_s \cdot C_d \cdot (z_2 + 1), \quad (4.61)$$

где Δh_{zp} – сопротивление одного ряда труб шахматных пучков определяемый по скорости газа в экономайзере $w = 4,82 \text{ м/с}$, температуре $t_{2.6} = 495^\circ\text{C}$, диаметре

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

труб экономайзера $d = 28$ мм с поперечным и продольным шагом $S_1 = 40$ и $S_2 = 64$ мм, $\Delta h_{zp} = 3,5$ Па [6, рис. 4];

C_s – коэффициент формы шахматного пучка $C_s = 1,35$ [6, рис.7];

C_d – поправка на наружный диаметр труб $C_d = 0,97$ [6, рис.7];

$z = 33$ – количество рядов труб по глубине пучка.

$$\Delta h_{\text{ок}} = 3,5 \cdot 1,35 \cdot 0,97 \cdot (33 + 1) = 155,83 \text{ Па}$$

Сопротивление трения в трубах воздухоподогревателя (4.62):

$$\Delta h_{mp} = C_{ui} \cdot \Delta h'_{zp} \cdot h_{\text{вн}}, \quad (4.62)$$

где C_{ui} – поправка на внутренний диаметр трубок при скорости газа в воздухоподогревателе $w = 2,8 \text{ м/с}$ и температуре $t_{2,6} = 225^\circ \text{C}$ диаметра труб воздухоподогревателя $d = 35$ мм. $C_{ui} = 1,1$

$\Delta h'_{zp}$ – потеря давления в трубах трубчатых воздухоподогревателей,

$\Delta h'_{zp} = 10$ Па;

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

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

Сопротивление, вызванное изменением скоростей газов при входе и выходе из воздухоподогревателя рассчитывается по формуле (4.63):

$$\Delta h_{uzm} = m \cdot (\xi_{\text{вх}} - \xi_{\text{вых}}) \cdot h_{\text{д}}, \quad (4.63)$$

где $h_{\text{д}}$ – динамический напор, определяемый по скорости газа в воздухоподогревателе $w = 2,8 \text{ м/с}$ и температуре $t_{2,6} = 225^\circ \text{C}$ $h_{\text{д}} = 6$ Па;

$\xi_{\text{вых}}$ – коэффициент сопротивления выхода из воздухоподогревателя, определяется по отношению меньшего к большему сечению канала $F_m / F_{\text{б}} = 0,41$ $\xi_{\text{вых}} = 0,41$;

$\xi_{\text{вх}}$ – коэффициент сопротивления входа из воздухоподогревателя, определяется по отношению меньшего к большему сечению канала $F_m / F_{\text{б}} = 0,41$ $\xi_{\text{вх}} = 0,33$;

$m = 5$ – число ходов воздухоподогревателя.

$$\Delta h_{uzm} = 5 \cdot (0,41 - 0,33) \cdot 6 = 2,4 \text{ Па}$$

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

Суммарное сопротивление воздухоподогревателя (4.64):

$$\Delta h_{en} = \Delta h_{изм} + \Delta h_{мп}, \quad (4.64)$$

$$\Delta h_{en} = 2,4 + 33 = 35,4 \text{ Па}$$

Для расчета сопротивления газохода необходимы данные из теплового расчета:

- температура газов на выходе из воздухоподогревателя $t_2 = 150^\circ\text{C}$;
- объем газов на выходе из воздухоподогревателя $V_2 = 14,49 \text{ м}^3/\text{м}^3$;
- размер поперечного сечения газохода $a \times b$ 3,75 x 2,40 м.

Площадь поперечного сечения газохода (4.65):

$$f_2 = a \cdot b, \quad (4.65)$$

$$f_2 = 3,75 \cdot 2,4 = 9 \text{ м}^2$$

Скорость движения газов(4.66):

$$w_2 = \frac{V_2 \cdot B_p \cdot (t + 273)}{f_2 \cdot 273}, \quad (4.66)$$

$$w_2 = \frac{3,47 \cdot B_p \cdot (150 + 273)}{9 \cdot 273} = 7,16 \text{ м/с}$$

Сопротивление трения в газоходе(4.67):

$$\Delta h_{мп} = \lambda \cdot \frac{l}{d_3} \cdot h_0, \quad (4.67)$$

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

l – длина воздухоподогревателя до дымовой трубы, $l = 30,5$ м;

h_0 – динамический напор, определяемый по скорости $w_2 = 7,16$ м/с и температуре газа $t_2 = 140^\circ\text{C}$, $h_0 = 33$ Па;

d_3 – эквивалентный диаметр, определяется по формуле (4.68):

$$d_3 = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}, \quad (4.68)$$

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

$$d_3 = \frac{2 \cdot 3,75 \cdot 2,4}{3,75 + 2,4} = 2,93 \text{ м}$$

$$\Delta h_{mp} = 0,02 \cdot \frac{30,5}{2,93} \cdot 33 = 6,87 \text{ Па}$$

Сопротивления трения в дымовой трубе (4.69):

$$\Delta h_{d.mp.} = \lambda_H \cdot \frac{H}{d_3} \cdot \frac{w_H^2}{2} \cdot \rho_2, \quad (4.69)$$

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

H – высота дымовой труб, $H = 100$ м;

d_{mp} – диаметр дымовой трубы, $d_{mp} = 5$ м;

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

ρ_2 – плотность газов определяется по формуле (4.70):

$$\rho_2 = \frac{353}{t_2 + 273}, \quad (4.70)$$

$$\rho_2 = \frac{353}{150 + 273} = 0,834 \text{ кг/м}^3$$

$$\Delta h_{d.mp.} = 0,05 \cdot \frac{100}{2,93} \cdot \frac{7,16^2}{2} \cdot 0,834 = 36,4 \text{ Па}$$

Местные сопротивления газохода (4.71):

$$\Delta h_m = \sum \xi \cdot h_d, \quad (4.71)$$

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

Сумма всех сопротивлений определяется по формуле (4.72):

$$\sum \xi = \xi_{вх} + \xi_{d.mp.} + \xi_{нов} + \xi_{ш}, \quad (4.72)$$

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

$\xi_{d.mp.}$ – коэффициент сопротивления на входе в дымовую трубу, $\xi_{d.mp.} = 0,9$;

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

$\xi_{пов.}$ – коэффициент сопротивления поворота $\xi_{пов.} = 1$, для 8 поворотов – $\xi_{пов} = 8$;

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

$$\sum \xi = 0,5 + 0,9 + 8 + 0,2 = 9,6$$

$$\Delta h_m = 9,6 \cdot 60 = 576 \text{ Па}$$

Сопротивление газохода (4.73):

$$\Delta h_2 = \Delta h_m + \Delta h_{mp} + \Delta h_{\partial.mp}, \quad (4.73)$$

$$\Delta h_2 = 576 + 6,87 + 36,4 = 619,3 \text{ Па}$$

Суммарное сопротивление газового тракта (4.74):

$$\Delta H_{\partial} = \Delta h_{эк} + \Delta h_{6n} + \Delta h_2, \quad (4.74)$$

$$\Delta H_{\partial} = 155,83 + 35,4 + 619,3 = 810,5 \text{ Па}$$

Перепад полных давлений по тракту (4.75):

$$\Delta H_n = \Delta H_{\partial} + h_m', \quad (4.75)$$

где h_m' – разряжение на выходе из топки, $h_m' = 20$.

$$\Delta H_n = 810,5 + 20 = 830,5 \text{ Па}$$

4.3.3 Выбор дымососа

Производительность дымососа (4.76):

$$Q_p = \beta_{np} \cdot B_p \cdot (V_2 + \Delta \alpha \cdot V^0) \cdot \frac{t_{x6} + 273}{273}, \quad (4.76)$$

где $\Delta \alpha$ – присосы воздуха в топке, $\Delta \alpha = 0,02$;

β_{np} – коэффициент запаса по производительности, $\beta_{np} = 1,1$ [6].

$$Q_p = 1,1 \cdot 3,47 \cdot (13,5 + 0,02 \cdot 9,5795) \cdot \frac{150 + 273}{273} = 80,98 \text{ м}^3/\text{с}$$

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

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

Производительность одного дымососа (4.77):

$$Q_{\text{с}} = \frac{Q_p}{2}, \quad (4.77)$$

$$Q_{\text{с}} = \frac{80,98}{2} = 40,48 \text{ м}^3/\text{с}$$

Полное давление, которое должен развивать дымососа (4.78):

$$H_{\text{с}} = \beta_2 \cdot \Delta H_n, \quad (4.78)$$

где β_2 – коэффициент запаса по давлению, $\beta_2=1,2$.

$$H_{\text{с}} = 1,2 \cdot 830,5 = 997 \text{ Па}$$

Дымосос ДН-22х2-0,62:

- производительность $P = 83 \text{ м}^3/\text{с}$;
- мощность электродвигателя $N = 400 \text{ кВт}$;
- КПД = 84%.

4.4 Расчет горелочных устройств котла

Для технического перевооружения котла КВ-ГМ-100 выбраны горелочные устройства ПГМГ-40. Горелка ПГМГ-40 комбинированная может применяться для сжигания мазута и природного газа. Технические характеристики горелки приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Технические характеристики горелки ПГМГ-40 [30]

Технические характеристики	Значение
1	2
Тепловая мощность горелки, МВт	42
Номинальное давление газа перед горелкой, кПа	41
Коэффициент избытка воздуха	1,05
Номинальный расход газа, м ³ /ч	1,16
Масса ,(не более) кг	550

Расход воздуха на горелку (4.79):

$$G_g = \alpha \cdot V^0 \cdot B, \quad (4.79)$$

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

V^0 – теоретически необходимое количество воздуха, $V^0 = 9,5795 \text{ м}^3/\text{м}^3$ топлива;

B – расход газа на одну горелку из теплового расчета $B = 1,16 \text{ м}^3/\text{с}$.

$$G_g = 1,05 \cdot 9,5795 \cdot 1,16 = 11,66 \text{ м}^3/\text{с}$$

Площадь сечения для прохода воздуха (4.80):

$$F_g = \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_2^2), \quad (4.80)$$

где D_1 – диаметр корпуса горелки в месте прохода воздуха, $D_1 = 0,717 \text{ м}$;

D_2 – диаметр центрального газового коллектора, либо трубы для установки форсунки, $D_2 = 0,26 \text{ м}$ [31].

$$F_g = \frac{3,14}{4} \cdot (0,717^2 - 0,26^2) = 0,35 \text{ м}^2$$

Площадь сечения для прохода газа (4.81):

$$F_z = n \cdot \frac{\pi \cdot d_{омг}^2}{4}, \quad (4.81)$$

где n – число газоразпусковых отверстий, $n = 10$ шт;

$d_{омг}$ – диаметр газоразпусковых отверстий, $d_{омг} = 0,05 \text{ м}$.

$$F_z = 10 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 0,02 \text{ м}^2$$

Скорость истечения воздуха с учетом температурной поправки (4.82):

$$w_g = \frac{G_g \cdot \frac{273 + t_g}{273}}{F_g}, \quad (4.82)$$

$$w_g = \frac{11,66 \cdot \frac{273 + 300}{273}}{0,35} = 50 \text{ м/с}$$

										Лист
										50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.085.24 ПЗ					

Скорость истечения газа с учетом температурной поправки (4.83):

$$w_2 = \frac{B \cdot \frac{273 + t_2}{273}}{F_2}, \quad (4.83)$$

$$w_2 = \frac{1,16 \cdot \frac{273 + 20}{273}}{0,02} = 62,2 \text{ м/с}$$

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

Необходимое давление воздуха перед горелкой (4.84):

$$p_6 = \xi \cdot \frac{\rho_6 \cdot w_6^2}{2}, \quad (4.84)$$

Необходимое давление газа перед горелкой (4.85):

$$p_2 = \xi \cdot \frac{\rho_2 \cdot w_2^2}{2}, \quad (4.85)$$

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

ρ_6 и ρ_2 – плотность воздуха и газа соответственно.

Плотность газа при нормальных условиях (4.86):

$$\rho_{г.н.у} = \sum r_i \cdot \rho_i = \frac{C_{H_4}}{100} \cdot \frac{16}{22,4} + \frac{C_{C_2H_6}}{100} \cdot \frac{30}{22,4} + \frac{C_{C_3H_8}}{100} \cdot \frac{44}{22,4} + \frac{C_{C_4H_{10}}}{100} \cdot \frac{58}{22,4} + \frac{C_{C_5H_{12}}}{100} \cdot \frac{72}{22,4} + \frac{N_2}{100} \cdot \frac{28}{22,4} + \frac{H_2}{100} \cdot \frac{2}{22,4}, \quad (4.86)$$

$$\rho_{г.н.у} = \sum r_i \cdot \rho_i = \frac{94,2}{100} \cdot \frac{16}{22,4} + \frac{2,5}{100} \cdot \frac{30}{22,4} + \frac{0,4}{100} \cdot \frac{44}{22,4} + \frac{0,2}{100} \cdot \frac{58}{22,4} + \frac{0,1}{100} \cdot \frac{72}{22,4} + \frac{2,6}{100} \cdot \frac{28}{22,4} = 0,755 \text{ кг/м}^3$$

Плотность газа действительная (4.87):

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

$$\rho_z = \rho_{z.n.y} \cdot \frac{273}{t_z + 273}, \quad (4.87)$$

$$\rho_z = 0,755 \cdot \frac{273}{20 + 273} = 0,703 \text{ кг/м}^3$$

Плотность воздуха действительная (4.88):

$$\rho_g = \rho_{g.n.y} \cdot \frac{273}{t_g + 273}, \quad (4.88)$$

$$\rho_g = 1,29 \cdot \frac{273}{300 + 273} = 0,614 \text{ кг/м}^3$$

где $\rho_{g.n.y}$ – плотность воздуха при нормальных условиях, $\rho_{g.n.y} = 1,29 \text{ кг/м}^3$.

Глубина проникновения газовых струй в поток воздуха (4.89):

$$h = d \cdot k \cdot k_g \cdot \frac{w_z}{w_g} \sqrt{\frac{\rho_z}{\rho_g}}, \quad (4.89)$$

где $k_g = \sin \beta$ – коэффициент, учитывающий угол между направлением потока и газовых струй $k_g = 1$;

k – коэффициент, зависящий от относительного шага s/d между отверстиями.

При $s/d = 0,2$ $k = 1,4$.

$$h = 0,717 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot \frac{62,2}{50} \sqrt{\frac{0,703}{0,614}} = 1,33 \text{ м}$$

Диаметр расширившейся струи (4.90):

$$D = 0,75 \cdot h, \quad (4.90)$$

$$D = 0,75 \cdot 1,33 = 1 \text{ м}$$

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

5 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Сейчас, когда жизнь человека уже не представляется без электроэнергии, тепловой, атомной энергии, люди начали задумываться и понимать, что топливно энергетические ресурсы (ТЭР) нашей земли не безграничны. Чтобы рационально использовать ТЭР появилось понятие энергосбережение. Сегодня в современном мире энергосбережение – это неотъемлемая часть жизни цивилизованного общества. Это и забота о здоровье, и экономия денег, и комфорт проживания.

Энергосбережение — реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное (рациональное) использование (и экономное расходование) топливно-энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии. Энергосбережение — важная задача по сохранению природных ресурсов[32].

Главным документом в РФ по энергосбережению и повышению энергетической эффективности является Федеральный закон от 23.11.2009 №261 – ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»[9]. Главной целью федерального закона является повышение энергетической эффективности, которая достигается в экономических мерах стимулирования, создания правовых основ. Данный Федеральный закон действует на те сферы деятельности, где используются топливно-энергетические ресурсы .

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

В соответствии с Федеральным законом ФЗ №261 реализуются такие пути энергосбережения и увеличения энергетической эффективности:

- 1.Эффективное и рациональное использование энергетических ресурсов.
- 2.Поддержка и стимулирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности.
- 3.Системность и комплексность проведения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.
- 4.Планирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности.
- 5.Использование энергетических ресурсов с учетом ресурсных, производственно-технологических, экологических и социальных условий

С каждым годом потребление энергии увеличивается, основные топливно-энергетические ресурсы нашей земли (которые не возобновляемые) сокращаются. Из-за морального износа агрегатов потребление и выработка происходит неэффективно, а загрязнение окружающей среды увеличивается, появляется проблема энергосбережения ТЭР. На данный момент мир не имеет

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

альтернативных источников энергии, которые смогли бы полностью заменить выработку энергии на ТЭР. Для решения проблемы энергосбережения и эффективного использования ТЭР связана с проблемой энергетики, техническим перевооружением основного и вспомогательного оборудования, а так же со структурой экономики страны.

В России так же определена энергетическая стратегия на период до 2030 года. Целью энергетической политики России является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики, повышения качества жизни населения страны и содействия укреплению ее внешнеэкономических позиций[33].

Для достижения энергосбережения нужно подходить комплексно. При проектировании строительства, реконструкции и организации жизни городов и городского хозяйства на основе единой концепции рационального расходования всех видов энергоресурсов. Данная концепция имеет следующие условия: энергосбережение будет достигаться путем оптимизации энергии, которую потребляют жители города на всех уровнях энергоресурса обеспечения города – от источника энергии до конечного потребителя для всех видов энерго и ресурсообеспечения; – использования возобновляемых источников энергии, и энергии вторичных энергоресурсов; – стимулирования промышленных предприятий, городского хозяйства, модернизация существующих агрегатов и внедрение передовых технологий; – установить на всех уровнях Федерального, регионального, городского собрания приоритетные направления в энергосбережение на краткосрочный и долгосрочный период и распределить трудовые, финансовые материалы для выполнения данных направлений.

5.1 Расчет экономии топлива, полученной в результате замены горелочного устройства

В бакалаврской работе повышение энергетической эффективности и энергосбережение котельного агрегата КВ-ГМ-100 в пиковой котельной города Магнитогорска осуществляется за счет замены существующих горелочных устройств на новые газо-мазутные горелки ПГМГ-40.

Газо-мазутные горелки ПГМГ-40 требуют меньший расход топлива на горелку и меньший коэффициент избытка воздуха, в связи с этим уменьшаются потери тепла с уходящими газами, повышается коэффициент полезного действия котла. Коэффициент полезного действия котла КВ-ГМ-100, работающего при существующих горелках $\eta_1 = 91,8\%$, а после установки горелок ПГМГ-40 $\eta_2 = 92,6\%$.

Расход топлива до повышения КПД составлял $B_1 = 3,465 \text{ м}^3/\text{с}$, А рассчитанный после повышения КПД $B_2 = 3,435 \text{ м}^3/\text{с}$.

Экономия топлива при повышении КПД определяется по формуле (5.1).

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

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

где G – расход воды через котел, $G = 1235 \text{ т/ч} = 343,3 \text{ кг/с}$;

$h_{нв}$ – энтальпия нагретой воды, $h_{нв} = 633,1 \text{ кДж/кг}$;

$h_{не}$ – энтальпия питательной воды, $h_{не} = 294,6 \text{ кДж/кг}$;

Q_n^p – низшая рабочая теплота сгорания $Q_n^p = 36170 \text{ кДж/м}^3$.

$$\Delta B = \frac{343,3 \cdot (633,1 - 294,6)}{36170} \cdot \left(\frac{1}{0,918} - \frac{1}{0,926} \right) = 0,03023 \text{ м}^3/\text{с}$$

Экономия топлива в отопительный период составит 569,5 тысяч м^3 .

					<i>13.03.01.2018.085.24 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		55

6 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

В настоящий момент Россия находится на последних местах в списках стран, у которых экологическая ситуация не самая благоприятная. Наибольший отпечаток в этой ситуации оставляет воздействия промышленной отрасли. Загрязнение окружающего воздуха негативно влияет на здоровье человека и на состояние природной среды[34].

В энергетике основным загрязняющим предприятием является тепловые электростанции и теплоэлектростанции. Рабочая масса органического топлива состоит из углерода, водорода, кислорода, азота, серы, золы и влаги. Горючие компоненты топлива являются: водород, углерод, сера. В результате полного сгорания топлива образуется углекислый газ (CO_2), водяные пары (H_2O) и окислы серы (SO_2).

Для того чтобы снизить выбросы необходимо реализовать комплекс технических мероприятий, которые можно разделить:

- Мероприятия, приводящие к абсолютному снижению загрязняющих веществ.
- Мероприятия, приводящие к временному снижению выбросов загрязняющих веществ.
- Региональные или локальные предприятия по снижению выбросов для устранения локальных максимальных выбросов.

При современной технологии сжигания топлива, образовавшиеся продукты неполного сгорания, можно свести к минимуму и даже исключить.

При исследовании состава атмосферного воздуха, которые проводились, в районах источников теплоснабжения показывает, наибольшее загрязнение атмосферного воздуха по удельному весу приходится на долю окислов азота. Даже минимальные концентрации данного загрязнителя вызывают раздражение слизистых оболочек, дыхательных путей и легких, потенцируя бронхиальную астму и другие респираторные заболевания. При взаимодействии окислов азота с водой или водяными парами образуется азотная кислота (HNO_3), это приводит к кислотным дождям и коррозионным процессам металлоконструкций. Образование окислов азота в топках котлов происходит главным образом в результате окисления азота воздуха при высоких температурах в ядре факела топки, а так же при разложении и окислении азотсодержащих соединений, входящих в состав топлива. В дымовых газах котельных агрегатов окислы азота обычно состоят на 95-99% из окиси азота NO и лишь на 1-5% из двуокиси азота NO_2 .

Исходные данные

Район расчета – г. Магнитогорск;

Средняя температура наиболее холодного месяца $t_{нхм} = -16,9^\circ \text{C}$;

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Расход топлива на один котел КВ-ГМ-100 $B = 3,47 \text{ м}^3/\text{с}$;

Низшая теплота сгорания природного газа $Q_n^p = 35212,76 \text{ кДж/м}^3$;

Согласно паспорту промышленная труба кирпичная, высотой $H=100$ метров с диаметром устья $D= 5$ метра.

Пиковая котельная города Магнитогорска снабжает тепловой энергией потребителей только для отопления и вентиляции, так как в летний период такой необходимости нет, расчет будем производить только для зимнего периода.

6.1 Расчет объемов продуктов сгорания топлива

Расчетный объем продуктов сгорания при условиях выхода, $\text{м}^3/\text{м}^3$ (6.1):

$$V_p = \frac{P_{ny} \cdot V_{ny} \cdot T}{P \cdot T_{ny}}, \quad (6.1)$$

где $P_{ny} = 760$ мм рт. ст. – атмосферное давление при нормальных условиях;

$T_p = 150^\circ\text{C} = 423 \text{ К}$ – температура дымовых газов на выходе из котла;

$P_p = 735$ мм рт. ст. – атмосферное давление;

$T_{ny} = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ К}$ – температура при нормальных технических условиях.

Результаты расчета объемов продуктов сгорания приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты расчет объемов продуктов сгорания топлива (из теплового расчета котла)

Наименование величин	Обозначение	Размерность	Значение
1. Коэффициент избытка воздуха	α	-	1,1
2. Теоретический объем воздуха	V^0	$\text{м}^3/\text{м}^3$	9,5795
3. Теоретический объем трехатомных газов	$V_{RO_2}^0$	$\text{м}^3/\text{м}^3$	1,017
4. Теоретический объем водяных паров	$V_{H_2O}^0$	$\text{м}^3/\text{м}^3$	2,157
5. Теоретический объем двухатомных газов	$V_{N_2}^0$	$\text{м}^3/\text{м}^3$	7,5938
6. Действительный объем продуктов сгорания	V_2	$\text{м}^3/\text{м}^3$	11,742

$$V_p = \frac{760 \cdot 11,742 \cdot 423,15}{735 \cdot 273,15} = 18,808 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

6.2 Расчет приземной концентрации выбросов

В зимний период работают 2 котла ПТВМ-120 мощностью 120 Гкал/ч каждый, 2 котла КВГМ-100-150 мощностью 100 Гкал/ч.

Расход топлива на котел КВГМ-100-150 (из теплового расчета котла):

$$B_1 = 3,47 \text{ м}^3/\text{с};$$

$\eta = 92,6\%$ – КПД котла;

Расход топлива на котлы ПТВМ-120 (из режимной карты):

$$B_2 = 4,42 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Общий расход топлива, $\text{м}^3/\text{с}$ (6.2):

$$B = (X \cdot B_1) + (X \cdot B_2), \quad (6.2)$$

$$B = (2 \cdot 3,47) + (2 \cdot 4,42) = 15,78 \text{ м}^3/\text{с}$$

Объем продуктов сгорания, образующихся при работе котлов, $\text{м}^3/\text{с}$ (6.3):

$$V = V_p \cdot B, \quad (6.3)$$

$$V = 18,808 \cdot 15,78 = 296,8 \text{ м}^3/\text{с}$$

6.3 Расчет выброса оксидов азота

Суммарное количество оксидов азота, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами (6.4):

$$M_{NO_2} = 0,034 \cdot 10^{-3} \cdot \beta_1 \cdot k \cdot B \cdot Q_n^p \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) (1 - \beta_2 \cdot r) \beta_3 \quad (6.4)$$

где β_1 - безразмерный поправочный коэффициент, учитывающий влияние на выход окислов азота качества сжигаемого топлива, (содержание N^p) и способа шлакоудаления, для водогрейных котлов $\beta_1 = 1$;

β_2 - коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих газов в зависимости от условий подачи их в топку;

r - степень рециркуляции инертных газов (дымовых газов, сушильного агента и т.п.) в процентах расхода дутьевого воздуха;

β_3 - коэффициент, учитывающий конструкцию горелок; $\beta_3 = 1$ для вихревых горелок, $\beta_3 = 0,85$ для прямоточных горелок;

k - коэффициент, характеризующий выход окислов азота на 1т сожженного условного топлива, $\text{кг}/\text{т}$ (6.5).

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

$$k = \frac{2,5 \cdot Q_{\phi}}{20 + Q_{н}} \quad (6.5)$$

Коэффициент, характеризующий выход окислов азота на 1т сожженного условного топлива, для КВГМ-100-150:

$$k_1 = \frac{2,5 \cdot 120}{20 + 120} = 2,14 \text{ кг/т}$$

Коэффициент, характеризующий выход окислов азота на 1т сожженного условного топлива, для ПТВМ-120М:

$$k_2 = \frac{2,5 \cdot 139,2}{20 + 139,2} = 2,18 \text{ кг/т}$$

где $Q_{н}$ и Q_{ϕ} - номинальная и фактическая теплопроизводительность котла Гкал/ч.

Количество оксидов азота выбрасываемых с котлов КВГМ-100-150:

$$M^1_{NO_2} = 0,034 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 2,14 \cdot 3,47 \cdot 2 \cdot 36170 \cdot \left(1 - \frac{0}{100}\right) \cdot (1 - 0,002 \cdot 0,15) \cdot 1 = 18,25 \text{ г/с}$$

Количество оксидов азота выбрасываемых с котлов ПТВМ-120:

$$M^2_{NO_2} = 0,034 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 2,18 \cdot 4,42 \cdot 2 \cdot 36170 \cdot \left(1 - \frac{0}{100}\right) \cdot (1 - 0,002 \cdot 0,15) \cdot 1 = 23,69 \text{ г/с}$$

Суммарное количество оксидов азота, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами (6.6):

$$M_{NO_2} = M^1_{NO_2} + M^2_{NO_2}, \quad (6.6)$$

$$M_{NO_2} = 18,25 + 23,69 = 41,95 \text{ г/с}$$

6.4 Расчет концентрации вредных веществ

Расчет рассеивания выбросов ведется в соответствии с СН-369-74, согласно которым минимальная высота трубы определяется из условия, что максимальная концентрация вредного вещества в приземном слое C_m не превосходит максимально разовую ПДК этого вещества в атмосферном воздухе (6.7):

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

$$C_m \leq \text{ПДК} \quad (6.7)$$

В соответствии с этим уравнением минимально допустимая высота трубы H , м, при которой обеспечивается значение C_m , равное ПДК, при наличии Z труб одинаковой высоты и выброса при температуре выбрасываемых газов большей температуры атмосферного воздуха ($\Delta T > 0$), может быть рассчитана по формуле (6.8):

$$H = \sqrt{AFnm\eta \frac{M}{\text{ПДК}} \sqrt[3]{\frac{Z}{V_1 \Delta T}}}, \quad (6.8)$$

где M – расход выбрасываемого в атмосферу вещества, г/с;

ΔT – разность температур выбрасываемых газов и атмосферного воздуха;

V_1 – полный расход дымовых газов на срезе (устье) трубы, м³/с;

$A = 160$ – коэффициент, учитывающий рассеивающие свойства атмосферы при неблагоприятных метеорологических условиях.

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

η – поправочный коэффициент на рельеф. Если перепад высот в местности размещения источника выбросов не превышает 50 м на 1 км или препятствия (откосы, каньоны, горная гряда и т.п.) удалены более чем на $50H$, то $\eta = 1$;

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

Проведем расчет минимальной высоты дымовой трубы для зимнего режима работы котельной. Подберем ее высоту и диаметр из стандартных;

$\text{ПДК}_{\text{NO}_2} = 0,085 \text{ мг/м}^3$ – предельно допустимая концентрация окислов азота.

Определим максимальную концентрацию выбросов в летнем режиме для выбранной трубы и сравним ее с предельно допустимой концентрацией

Диаметр устья существующей трубы $D_0 = 5$ м.

Средняя скорость выхода газо-воздушной смеси из устья источника выброса, м/с (6.9):

$$\omega_0 = \frac{4 \cdot V_1}{\pi \cdot D_0^2}, \quad (6.9)$$

$$\omega_0 = \frac{4 \cdot 296,8}{3,14 \cdot 5^2} = 15,12 \text{ м/с}$$

Средняя скорость выхода газовойоздушной смеси из устья существующей дымовой трубы оптимальна.

										Лист
										60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.085.24 ПЗ					

Разность между температурой выбрасываемых газов и средней температурой воздуха наиболее холодного месяца (6.10):

$$\Delta T = t_{yx} - t_{нхм}, \quad (6.10)$$

Температура уходящих газов после котла КВГМ-100-150: $t_{yx} = 144^\circ \text{C}$;

Температура уходящих газов после котла ПТВМ-120: $t_{yx} = 160^\circ \text{C}$;

Средняя температура уходящих газов:

$$t_{yx} = 0,45 \cdot 144 + 0,55 \cdot 160 = 153^\circ \text{C}$$

$$\Delta T = 153 - (-16,9) = 169,9$$

Высота существующей дымовой трубы $H=100$ м

Вспомогательные величины:

$$f = \frac{10^3 \cdot \omega_0^2 \cdot D_0}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (6.11)$$

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \frac{\Delta T}{H}}, \quad (6.12)$$

$$f = \frac{10^3 \cdot 15,12^2 \cdot 5}{100^2 \cdot 169,9} = 0,67$$

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{296,8 \cdot \frac{169,9}{100}} = 5,17$$

Коэффициенты, учитывающие подъем факела над трубой (6.13):

При $f < 100$:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} \quad (6.13)$$

При $v_m \geq 2$

$$n=1$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,67} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,67}} = 0,953$$

										Лист
										61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.085.24 ПЗ					

Максимальная приземная концентрация вредных веществ, при выбросе из одиночного источника (6.14):

$$C_{m_{NO_2}} = \frac{AMFmn\eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (6.14)$$

$$C_{m_{NO_2}} = \frac{160 \cdot 41,95 \cdot 1 \cdot 0,953 \cdot 1 \cdot 1}{100^2 \sqrt[3]{296,8 \cdot 169,9}} = 0,017 \text{ мг/м}^3$$

Максимальная концентрация выбросов NO_2 в зимний период не превышает ПДК $_{NO_2}$ =0,085 мг/м³[12].

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

7 АВТОМАТИЗАЦИЯ

Главной задачей автоматического регулирования энергетической установки является – обеспечить работу каждого агрегата в области гарантированных режимах. Для водогрейного котла режимом работы характеризуется следующие значения: давление и температура на выходе из котлоагрегата, теплопроизводительностью.

Безопасную работу в котельной, экономичную, надежную, с минимальным числом обслуживающего персонала можно достичь, если котельная будет оборудована автоматическим регулированием, теплового контроля, защиты оборудования, управлением технологическими процессами и сигнализацией.

Главными задачами работы в котельном агрегате для контроля и управления является обеспечение[35]:

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

Обслуживающий персонал в котельной должен иметь представление как работает котельный агрегат по показаниям контрольно измерительным приборам, которыми оснащается котлоагрегат. Данные приборы делятся на группы:

- температура воздуха, воды, дымовых газов;
- давления разрежения в топке, газоходах и отдельных элементов котла, газа, воды и воздуха;
- расход топлива, горячей воды и дымовых газов;
- состав дымовых газов и питательной воды;

При помощи автоматического регулирования котельного агрегата решаются такие задачи как: блокирование, автоматическое включение или отключение основного и вспомогательного оборудования в определенной последовательности; защита оборудования при создании аварийных ситуаций; дистанционное управление; регулирование физических процессов в определенных пределах при заданных величинах.

Одной из главных задач, не только физических на и экономических, во всех котельных агрегатах является поддержания оптимального соотношения газ-воздух. Именно от этого соотношения будет зависеть КПД котельного агрегата. Все эти задачи решаются одновременно и зависит от стоимости и мощности агрегата, чем больше мощность, тем больше процессов регулируется[36].

В данной котельной объем средств автоматизации соответствует требованиям "Правил устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов"[13], "Правил безопасности в газовом хозяйстве", СНиП II-35-76.

						13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			63

Контроллер АГАВА 6432 обеспечивают требования безопасности работы котлов на газовом и жидком топливе в соответствии с руководством по эксплуатации на котел, федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности, техническими регламентами РФ и ТС в области безопасности, СП 62.13330.2011[37], СП 89.13330.2012[3], ГОСТ Р 54961-2012[38], ГОСТ 21204-97[14].

Помимо того, что все параметры выводятся на щит управления, применяются контрольно-измерительные приборы по месту (расходомеры; термометры и манометры; тягомеры и газоанализаторы).

Манометр оборудован шкалой деления. Рабочей давления с учетом добавочного давления от столба жидкости наносится красной чертой на уровне деления.

Манометры для водогрейных котлов устанавливаются так, чтобы обслуживающий персонал смог отчетливо рассмотреть его показания. Шкала манометра располагается под наклоном вперед до 30° или вертикально для хорошей видимости показаний.

Приборы измерения температуры воды для водогрейных котлов должны устанавливаться на входе и выходе из котла. На термометре красной чертой на шкале отмечается допустимая температура горячей воды

Так же необходимы приборы для испытаний, которые проводятся после реконструкции или ремонта котельного агрегата.

Общекотловой контроллер выполняет следующие функции:

- управление задвижками воды на входе и выходе котла;
- управление общекотловой задвижкой по газу и общекотловым ПЗК (при работе на газе);
- управление общекотловой задвижкой жидкого топлива и общекотловым клапаном отсекаем жидкого топлива (при работе на жидком топливе);
- управление регулирующей заслонкой газа на общем газопроводе (при работе на газе);
- автоматическое и дистанционное регулирование разрежения в топке котла;
- автоматическое регулирование мощности котла по температуре воды на выходе котла или по расходу газа на котел.
- управление очередностью и порядком розжига горелок котла;
- автоматическое или дистанционное подключение требуемого количества горелок;
- аварийное отключение котла по общекотловым защитам (повышение температуры воды на выходе котла; повышения/понижения давления воды на выходе котла; понижении давления газа пред котлом (при работе на газе); понижения разрежения в топке котла; погасании факелов горелок и (или) факела в топке; отключении дымососа котла; отключении дутьевого вентилятора котла; прекращения подачи электроэнергии или исчезновения напряжения на устройствах дистанционного и автоматического управления и средствах измерения).

										Лист
										64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.085.24 ПЗ					

Горелочный контроллер выполняет следующие функции[14]:

- проверка герметичности газовых клапанов;
- автоматический розжиг горелки на газе и ручной на жидком топливе;
- автоматическое регулирование соотношения топливо-воздух на горелке;
- защитное отключение горелки (понижении/повышении давления газа перед горелкой; понижении давления воздуха перед горелкой;; отключении вентилятора горелки; прекращения подачи электроэнергии или исчезновения напряжения на устройствах дистанционного и автоматического управления и средствах измерения).

Во всех режимах работы прибора, кроме розжига, возможен контроль работы аварийной световой и звуковой сигнализации. Для проверки работы аварийной звуковой сигнализации нужно нажать кнопку с символом колокольчика и при исправной работе на время нажатия кнопки включится звонок громкого боя.

При работе контроллер анализирует сигнал от датчиков: температура и давление воды на выходе из котла; разряжение в топке котла; давления газа и воздуха перед котлом; давление питательной воды; фотоснимок пламени. В случае превышения заранее заданной уставки, или выхода значения сигнала за пороговые значения, формируется сигнал предупредительной сигнализации в виде прерывистого звукового и светового сигналов. Сигнализация отключается автоматически при исчезновении причины, вызвавшей ее.

В таблице 7.1 приведены обозначения к функциональной схеме автоматики.

Таблица 7.1 – Обозначения к функциональной схеме автоматики

Позиция	Наименование
PE	Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения давления, установленный по месту.
PI	Прибор для измерения давления показывающий
PC	Прибор для измерения давления, снабженный регулятором
PA	Прибор для измерения давления, сигнализирующий
PIA	Прибор для измерения давления показывающий, сигнализирующий установленный на щите.
PES	Прибор для измерения давления (разрежения) показывающий с контактным устройством, установленный по месту.
TI	Прибор для измерения температуры показывающий, установленный по месту.
TE	Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения температуры, установленный по месту.
TA	Прибор, для измерения температуры, снабженный устройством для сигнализации.
TC	Регулятор температуры, бесшкальный
FE	Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения расхода.
FI	Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения расхода, установленный по месту.
FEI	Прибор для измерения расхода, с дистанционной передачи показаний.
FRI	Прибор для измерения расхода показывающий, регистрирующий, установленный на щите.
NS	Пусковая аппаратура для управления электродвигателем (включение, выключение насоса; открытие, закрытие задвижки и т.д.).
QIR	Вторичный показывающий и самопишущий прибор для измерения состава, установленный на щите
ZE	Прибор для контроля погасания факела, с дистанционной передачи показаний.
ZI	Прибор для контроля погасания факела, показывающий
ZA	Прибор для контроля погасания факела, сигнализирующий

8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В пиковой котельной установлено 4 водогрейных котла: 2 котла ПТВМ-120 производительностью 139,2 МВт и два котла КВ-ГМ-100 производительностью 116 МВт.

Техническое перевооружение котла КВ-ГМ-100 подразумевает замену горелочных устройств.

Работа котельной осуществляется с рабочим персоналом. Опасные и вредные производственные факторы (ОВПФ) по природе действия делятся на физические, химические, биологические и психофизические. В ГОСТ 12.0.003-80 "Опасные и вредные производственные факторы" [39] приводится классификация ОВПФ.

Для водогрейных котлов имеет место следующие факторы:

1. Физические
 - Повышенная температура поверхностей оборудования и материалов;
 - Повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте;
 - Не комфортные параметры микроклимата и освещенность;
2. Химические
 - Утечки природного газа
 - Повышенная концентрация NO_x и CO в дымовых газах;
3. Факторы трудового процесса
 - Динамическая нагрузка;
 - Статическая нагрузка;
 - Напряженность труда;
4. Травмоопасные факторы
 - Давление теплоносителя выше атмосферного;
 - Ожог теплоносителем высокой температуры;
 - Работа на разных уровнях от нулевой отметки котельной, обусловленной высотой котельного агрегата, множество лестниц и площадок;
 - Поражение электрическим током;
5. Возможные аварийные ситуации
 - Разрыв трубопровода горячего водоснабжения;
 - Нарушение герметизации на газопроводе;
 - Пожар;
 - Взрыв в котельном агрегате;
 - Не плотности оборудования в месте отвода уходящих газов;

8.1 Безопасность производственных процессов и оборудования

В зданиях котельных запрещено размещать бытовые и служебные помещения, которые не предназначены для персонала котельной, а также мастерские, не предназначенные для ремонта котельного оборудования. Выходные двери из помещения котельной должны открываться наружу. Для организации безопасной

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

эксплуатации котельной вышестоящий персонал предприятия обязан обеспечить обслуживание котельных агрегатов в рабочем состоянии и безопасные условия их эксплуатации путем надлежащего обслуживания. Для этого необходимо[15]:

- назначить ответственного специалиста за исправное состояние и безопасную эксплуатацию котлов из числа инженерно-технических работников, прошедших проверку знаний в установленном порядке;
- обеспечить инженерно-технических работников правилами и руководящими документами по безопасной эксплуатации котлов;
- назначить в необходимом количестве лиц обслуживающего персонала, обученного и имеющего удостоверение на право обслуживания котлов;
- разработать и утвердить производственные инструкции, инструкции по охране труда, которые должны быть выданы рабочим под расписку;
- проводить проверку знаний обслуживающего персонала в сроки, установленные требованиями Правил;
- обеспечить проведение технического освидетельствования котлов в установленные сроки.

В помещение котельной не должны допускаться лица, не имеющие отношения к эксплуатации котельной и оборудованию котельной. Ответственность за безопасную эксплуатацию котельной возлагается приказом по предприятию на начальника котельной. Номер и дата приказа заносится в паспорт котла. Ответственные за исправное состояние и безопасную эксплуатацию котельной должны иметь специальное теплотехническое образование. В отдельных случаях ответственность за исправное состояние и безопасную эксплуатацию котельной может быть возложена на инженерно-технического работника, не имеющего теплотехнического образования, но прошедшего специальную подготовку и аттестацию комиссий с участием инспектора Госгортехнадзора.

8.2 Пожаробезопасность

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

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на:

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

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию машин и внутрицехового транспорта, правильное содержание зданий, территории, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, организацию пожарно – технических комиссий, издание приказов по вопросам усиления пожарной

										Лист
										67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.085.24 ПЗ					

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

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

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

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

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

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

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

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

Все электрические установки защищены как от грозových, так и от коммуникационных перенапряжений. Плотность генератора, работающего с избыточным давлением водорода 2 кгс/см², обеспечивается системой масляных уплотнений вала генератора[16].

Газопроводы оборудуют водяными затворами или пламяпреградителями для защиты от попадания взрывной волны или пламени со стороны сети потребления. Помещения цехов построены таким образом, чтобы ограничить распространение

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

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

Для тушения пожара предусмотрены следующие системы:

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

8.3 Электробезопасность

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

Проходя через тело человека, электроток производит термическое, электролитическое, механическое и биологическое действие. Термическое действие тока проявляется ожогами отдельных участков тела. Электролитическое действие тока выражается в разложении жидкостей организма на ионы. Механическое действие тока приводит к разрыву тканей. Биологическое действие тока проявляется судорожным сокращением мышц, нарушением внутренних биологических процессов. Сети электроснабжения прокладываются открыто по стенам в трубе по полу[17]. В качестве аппаратуры защиты и управления используются шкафы управления, предусмотренные комплектно с вентилятором.

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

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

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

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

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

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

4 категория: любые воздушные линии, электропечи.

8.4 Защита от шума

В котельном цехе, главным источником механического шума являются вентиляторы с приводом от электродвигателя, насосы, горелки котельного агрегата, и дымососы.

Шум образующийся в электрических машинах при взаимодействии одновременно следующих шумов: магнитных сил ротора и статора, аэродинамических сил вращения ротора и движение потоков воздуха, механическая вибрация от деталей и составных узлов агрегата.

В трубопроводах и насосах может возникнуть кавитация. Кавитационный шум проявляется даже на ранней стадии кавитации. В воздуходувных аппаратах и горелках главной составляющей шума является аэродинамический шум, связанный с турбулентным течением газа или воздуха.

Воздействие шума понижает точность выполняемых работ, затрудняет прием и восприятие информации, способствует быстрому снижению трудовой деятельности, что приводит к снижению производительности труда.

Повышенный уровень производственного шума на рабочем месте оказывает вредное воздействие на организм человека: снижается острота слуха, зрения, нарушается нормальная деятельность сердечно-сосудистой системы. Продолжительное воздействие производственного шума может вызвать отклонения и функциональные изменения нервной, кровеносной, а также пищеварительной систем организма человека.

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования к безопасности»[40], средства коллективной защиты по отношению к источнику возбуждения шума, снижающие шум на пути его распространения реализуется в применении кожухов на источниках шума. Предельно допустимый уровень шума для операторской работы в котельной – 80 дБА. Чтобы проникающий шум был меньше, на предприятиях используют звукоизолирующие преграды. Чем жестче, массивнее преграда тем труднее привести ее в колебание и тем лучше она изолирует звук. На многих предприятиях используют специальные листы стали толщиной 0,7 – 2 мм с покрытием из вибродемпфирующей мастики ВД -17 -58, уменьшающие уровень шума с частотной октавой от 63 до 8000 Гц на 20 - 45 дБ.

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

стекло толщиной 4 мм уменьшает воздействие шум на 28 дБ. Для более эффективной защиты, применяют преграды выполненные не в один слой, а в два или более слоев и между ними остается воздушный зазор или подглаживают технические материалы ваты и войлока, которые поглощают звук.

Пористые материалы – войлок, вата, пемза, ткань, пористая штукатурка и керамика значительно ослабляют силу звука, в особенности высоких тонов при частотах выше 500 Гц.

Чтобы снизить шум низкочастотных волн применяют панели из гибких конструкций. Суть защиты состоит в резонансе колебаний, а именно, когда частота собственных колебаний совпадает с частотой звуковых волн. В иаком случае происходит наибольшая потеря звукового шума.

Для этой цели используют перфигированные панели – облицовки. отверстия являются резонаторами. Перфигированные панели с отверстиями Ø 5-8 мм располагаются на расстоянии 80 – 100 мм стены. Шум оценивают по частотной характеристике, обеспечивающей согласование звуков различных уровней и частот с субъективными ощущениями.

Для того чтобы избежать шума в трубопроводе и арматуре принимается скорость воды в пределах такой величины, при которой не будет создаваться шумовые явления, мешаемые для человека.

Когда установка специальных звукоизолирующих перегородок, экранов невозможна, так как технологические процессы находятся в цехе и нужен постоянный человеческий контроль, необходимо использовать средства индивидуальной защиты противошумные вкладыши (беруши).

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

8.5 Требования безопасности, предъявляемые к горелочным устройствам

К горелочным устройствам предъявляют следующие требования[41]:

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

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

3. Горелочные устройства должны иметь паспорт организации-изготовителя.

4. Котел должен быть снабжен:

а) комплектом основных и резервных форсунок;

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

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

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

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

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

7. Аэродинамические характеристики горелок и размещение их на стенах топки должны обеспечивать равномерное заполнение топки факелом без наброса его на стены и исключать образование застойных и плохо вентилируемых зон в объеме топки.

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

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

8.6 Защита от вибрации

При длительном нахождении в зоне вибрации, в производственных условиях, все это приводит к различным отклонениям в организме человека.

Механические колебания малой амплитудой, которые появляются в упругих телах или в телах на которые воздействует переменное физическое поле, называется вибрацией.

Общая вибрация оказывает пагубное воздействие на нервную систему, наступают изменения в сердечно-сосудистой системе, вестибулярном аппарате, нарушается обмен веществ.

Локальная вибрация вызывает различную степень нервно-мышечных, костно-суставных и других нарушений.

При определенном диапазоне частот и большой интенсивности вибрации может произойти разрыв тканей, сотрясение головного мозга. Самые опасные вибрации, которые могут воздействовать на человека, это совпадения частот

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

внутренних органов с частотами собственного колебания тела человека, такие вибрации могут спровоцировать в организме человека резонансные явления.

Согласно ГОСТ 12.1.012-90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования»[42], чтобы понизить степень вибрации в котельном цехе, есть несколько методов, которые помогают снизить параметры по типу их распространения.

Опоры трубопроводов выполняются гибкими с пружинными компенсаторами. Все механические агрегаты в цехе имеют свой собственный фундамент виброизолированные от пола и конструкции здания, пробки, специальные конструкции, которые состоят из стальных амортизирующих пружин, битуминизированного войлока. Все эти материала ослабляют передачу вибрации. Так же возможно защитить воздействие вибрации от человека, установкой между несущими балками, стенами и каркасами здания прокладки, для того чтобы вибрация не распространялась по зданию

Для того чтобы вибрация не передавалась через землю, между грунтом и зданием фундаментом остается небольшой зазор, т.е. воздушная прослойка, которая в ширину достигает не менее 75 мм, заполненная звукопоглощающим материалом (войлоком, сухими опилками).

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

Такое ослабление вибрации называется демпфированием. Крупное оборудование, вызывающее вибрацию, изолируется матами прошивными, безобкладочными из базальтового супертонкого волокна в несколько слоев с каркасом из сетки. Соударяющиеся детали смазывают вязкими жидкостями, а вибрирующие детали погружают в масляные ванны. В нашем случае общая вибрация категории 3А. Предельно допустимый уровень – 92 дБ. Для локальной вибрации по оси X – 112 дБ.

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Пиковая котельная обеспечивает тепловой энергией южную часть города Магнитогорска. В городском планировании, на ближайшее года планируется увеличение микрорайонов в южной части города. На данный момент установленная тепловая мощность котельной 500 МВт, а потребляемая мощность 495 МВт. В связи с нехваткой тепловой мощности для застройки новых микрорайонов необходимо произвести модернизацию в котельной. В результате режимно-наладочных испытаний было выявлено, что котел №4 КВ-ГМ-100 не вырабатывает необходимого количество тепловой энергии, так как горелки РГМГ-30 морально устарели. Модернизация водогрейного котла КВ-ГМ-100 подразумевает замену горелочных устройств.

Современные паромеханические газо-мазутные горелки ПГМГ-40 требуют меньший расход топлива на горелочное устройство и меньший коэффициент избытка, в связи с этим увеличится коэффициент полезного действия котельного агрегата, так как потери теплоты с уходящими газами уменьшатся.

9.1 Смета капитальных затрат на модернизацию котла КВ-ГМ-100

Смета капитальных затрат рассчитывается по формуле (9.1):

$$K = K_{np} + K_{op} + K_{mp} + K_{tr} + K_{ob} + K_{n.n.}, \quad (9.1)$$

где K_{np} – затраты на проектные работы;

K_{op} – затраты на демонтажные работы;

K_{mp} – затраты на монтажные работы;

K_{tr} – затраты на транспортировку оборудования;

K_{ob} – затраты на оборудование;

$K_{n.n.}$ – затраты на переподготовку персонала.

В таблице 9.1 приведена смета капитальных затрат на модернизацию котельного агрегата. Цены на монтажные, демонтажные и дополнительные материалы были взяты документации бухгалтерии МП трест «Теплофикация».

Таблица 9.1 – Смета капитальных затрат на модернизацию котла КВ-ГМ-100 путем замены горелочного устройства

Наименование затрат	Цена, тыс. руб.	Кол-во, шт	Сумма, тыс. руб.
1	2	3	4
Проектные работы[43]	150	1	150,00

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

Продолжение таблицы 9.1

1	2	3	4
Демонтажные работы	43,6	3	130,80
Монтажные работы	39,1	3	117,30
Переподготовка персонала[43]	100,0	1	100,00
Транспортировка	32,95	1	32,95
Оборудование:			
• Газо-мазутная горелка ПГМГ-40[44]	620	3	1860,00
• Вентилятор ВДН-20[45]	729	1	729,00
• Дымосос ДН-22[45]	816	1	816,00
• Другое (дополнительные материалы для монтажа горелки)	–	–	62,30
Итого	–	–	3998,35

Капитальные затраты для модернизации водогрейного котла путем замены горелочных устройств составят – $K = 3998,35$ тыс.рублей.

9.2 Экономия текущих затрат

Текущие затраты на обслуживание оборудования считаются по формуле (9.2):

$$u = u_m + u_{амор} + u_{т.р.} + u_{з.п.} + u_{соц.стр.}, \quad (9.2)$$

где u_m – затраты на топливо;

$u_{амор}$ – амортизационные отчисления;

$u_{т.р.}$ – затраты на текущий ремонт;

$u_{з.п.}$ – заработная плата эксплуатационного персонала;

$u_{соц.стр.}$ – отчисления на социальное страхование.

Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле (9.3):

$$u_{амор} = 0,1 \cdot K_{об}, \quad (9.3)$$

Затраты на текущий ремонт рассчитываются по формуле (9.4):

$$u_{т.р.} = 0,05 \cdot u_{амор}, \quad (9.4)$$

Отчисления на социальное страхование рассчитывается по формуле (9.5):

$$u_{\text{соц.стр.}} = 0,34 \cdot u_{\text{з.п.}} \quad (9.5)$$

В таблице 9.2 приведена калькуляция текущих затрат на обслуживания новых горелочных устройств. Затраты на заработную плату персонала взяты из документации бухгалтерии МП трест «Теплофикация».

Таблица 9.2–Калькуляция текущих затрат на энергетическое обслуживание новых горелок ПГМГ-40 после модернизации

Статьи затрат	Единица измерения	Величина
Годовой расход топлива	млн.м ³ /год	64,6
Тариф на газ[46]	руб. на 1000 м ³	3726,00
Топливо	тыс.руб./год	240699,60
Стоимость оборудования	тыс.руб.	3405,00
1.Амортизационные отчисления (10% от стоимости оборудования)	тыс.руб./год	340,50
2.Текущий ремонт (5% от амортизационных отчислений)	тыс.руб./год	17,00
3.Заработная плата эксплуатационного персонала	тыс.руб./год	2376,00
4.Отчисления на социальное страхование (составляют 34% от заработной платы)	тыс.руб./год	807,84
Итого	тыс.руб./год	244240,94

В таблице 9.3 приведена калькуляция затрат на энергетическое обслуживания существующих горелок

Таблица 9.3 – Калькуляция текущих затрат на энергетическое обслуживание существующих горелок

Статьи затрат	Единица измерения	Величина
1	2	3
Годовой расход топлива	млн.м ³ /год	65,05
Тариф на газ[46]	руб. на 1000 м ³	3726,00
Топливо	тыс.руб./год	242401,60
Стоимость оборудования	тыс.руб.	1575,00
1.Амортизационные отчисления (10% от стоимости оборудования)	тыс.руб./год	157,50
2.Текущий ремонт (5% от амортизационных отчислений)	тыс.руб./год	7,87

Продолжение таблицы 9.3

1	2	3
3.Заработная плата эксплуатационного персонала	тыс.руб./год	2376,00
4.Отчисления на социальное страхование (составляют 34% от заработной платы)	тыс.руб./год	807,84
Итого	тыс.руб./год	245750,81

Экономия текущих затрат:

$$\Delta u = 245750,81 - 244078,74 = 1672,07 \text{ тыс.руб./год}$$

9.3 Срок окупаемости проекта модернизации котла КВ-ГМ-100

После проведения модернизации, демонтированные горелочные устройства РГМГ-30 больше не могут эксплуатироваться по назначению. Было принято решения отправить горелочные устройства в утиль. Масса одного устройства по паспорту составляет 750 килограмм[47]. Котел КВ-ГМ-100 оборудован тремя горелочными устройствами. Цена приема одной тонны металла равна 7,8 тысяч рублей [48].

Ликвидационная стоимость демонтированного оборудования рассчитывается по формуле (9.6):

$$K_{ликв} = m \cdot p, \quad (9.6)$$

где m – масса оборудование, т;

p – цены за тонну металла, тыс.руб..

$$K_{ликв} = 2,25 \cdot 7,8 = 17,55 \text{ тыс.руб.}$$

Срок окупаемости рассчитывается по формуле (9.6):

$$T_{ок} = \frac{K - K_{ликв}}{\Delta u}, \quad (9.6)$$

где K – капитальные затраты, тыс. руб.;

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

$$T_{ок} = \frac{3998,35 - 17,55}{1509,13} = 2,57 \text{ года} = 31 \text{ месяц}$$

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

Срок окупаемости на модернизацию котельного агрегата КВ-ГМ-100 составляет 2,57 года. Это значение не превышает нормативного срока, который составляет 5 лет. Данный проект экономически эффективен.

9.4 Себестоимость 1 ГДж теплоты

При расчете себестоимости отпускаемой теплоты считаются все виды материальных и денежных затрат которые связаны с производством и сбытом продукции, кроме капитальных вложений.

В таблице 9.4 приведены затраты на производство 1 ГДж тепловой энергии. Затраты на заработную плату персонала взяты из документации бухгалтерии МП трест «Теплофикация».

Таблица 9.4 – Себестоимость 1ГДж тепловой энергии

Показатели и статьи затрат	Единица измерения	Величина
1. Годовой расход топлива (для 4 котлов)	млн.м ³ /час	319,4
2. Тариф на газ[46]	руб. на 1000 м ³	3726
3. Расход на топливо	тыс.руб./год	1190084,40
4. Заработная плата (по среднемесячной заработной плате)	тыс.руб./год	4506,32
5. Содержание и эксплуатация энергооборудования: – стоимость оборудования:	тыс.руб/год	3405,00
5.1 Амортизационные отчисления (10% от стоимости оборудования)	тыс.руб/год	340,50
5.2 Текущий ремонт (5% от амортизационных отчислений)	тыс.руб/год	17,00
5.3 Основная и дополнительная зарплата ремонтного персонала	тыс.руб/год	2376,00
5.4 Отчисления на социальное страхование (составляют 34% от заработной платы)	тыс.руб./год	807,84
Итого затрат на содержание и эксплуатацию оборудования	тыс.руб./год	6946,34
6. Итого затрат	тыс.руб./год	1198132,06
7. Годовой расход теплоты	ГДж/год	9638,348 · 10 ³
8. Себестоимость 1 ГДж теплоты	руб./ГДж	124,30

9.5 Ранжирование проблем

В городе Магнитогорске планируется застройка новых микрорайонов с численностью населения 12000 человек. По расчетам, которые были сделаны в пункте 4.1.1 видно, что потребность в тепловой энергии для новых микрорайонов в начале отопительного периода составляет 5,85 МВт, а для самой холодной пятидневки в году равна 26,31 МВт. В настоящее время установленная тепловая мощность 500 МВт, а потребляемая 495 МВт. Исходя из расчетов, можно сделать вывод, что самая главная проблема по степени важности решения и срочности является несовершенство горелочных устройств. На рисунке 9.1 представлена модель ранжирования проблем.

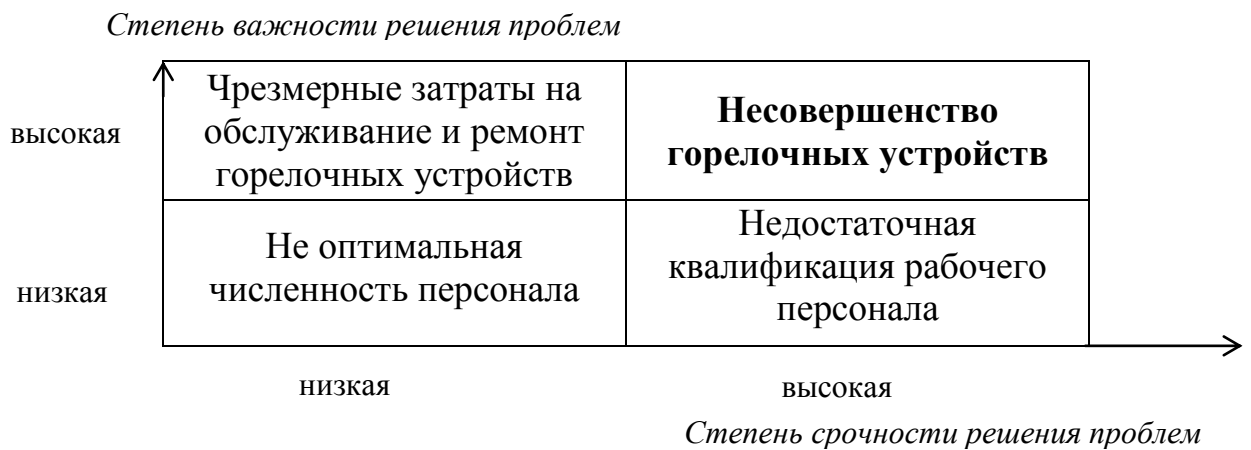


Рисунок 9.1 – Ранжирования проблем

9.5.1 Модель причинно-следственной диаграммы

На рисунке 9.2 представлена модель причинно-следственной диаграммы.



Рисунок 9.2 –Причинно-следственная диаграмма

9.6 Качественный анализ вариантов проектных решений

Сравнительный анализ вариантов осуществляется методом SWOT. Для этого составляются матрицы, в квадрантах которых приводятся сильные (S), слабые (W) стороны каждого варианта, а также возможности (O) и угрозы (T) внешней среды при их реализации[18].

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

Таблица 9.5 – SWOT-анализ работы котла без модернизации

Сильные стороны (S)	Слабые стороны (W)
1) Большой опыт работы персонала с существующим оборудованием; 2) Отсутствие капитальных затрат;	1) Низкий КПД котельного агрегата; 2) Высокий коэффициент избытка воздуха; 3) Потери с теплотой уходящих газов; 4) Высокий износ горелочных устройств, требуется замена; 5) Повышенный расход топлива. 6) Высокая концентрация выбросов вредных веществ; 7) Увеличение себестоимость готовой продукции.
Возможности (O)	Угрозы (T)
1) Увеличение спроса на тепловую энергию – рост потребителей тепловой энергии.	1) Рост цен на топливно-энергетические ресурсы.

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

Таблица 9.6 – SWOT-анализ проекта после модернизации

Сильные стороны (S)	Слабые стороны (W)
1) Высокий КПД котельного агрегата; 2) Низкий расход топлива; 3) Уменьшение текущих затрат на обслуживание; 4) Горелочные устройства обеспечивают устойчивое горение и высокую полноту сгорания топлива; 5) Больше диапазон регулирования; 6) Уровень надежности и безопасности соответствует всем актуализированным ГОСТам и СНиПам.	1) Переподготовка персонала к работе на новом оборудовании; 2) Необходимость в капитальных затратах.
Возможности (O)	Угрозы (T)
1) Поддержка со стороны государства; 2) Появление более нового современного оборудования.	1) Рост цен на оборудование;

На основании приведённого анализа можно сделать вывод, что замена старых горелочных устройств на новые горелки будет целесообразно, так как этот вариант имеет намного больше сильных сторон и намного меньше слабых сторон.

9.7 Дерево целей проекта

Дерево целей - это структурированный иерархический перечень целей организации, в котором цели более низкого уровня подчинены и служат для достижения целей более высокого уровня. На сегодняшний день метод дерева целей используется в прогнозировании различных направлений науки и техники, а также для составления личных целей или при планировании будущей деятельности какой-либо организации или компании[49].

В вершине дерева формируется миссия предприятия. Миссия является комплексной целью, она включает как внутренние, так и внешние ориентиры деятельности организации, выражая таким образом суть того успеха, которого должна добиться организация. Миссия предприятия - это общественная польза, которую организация намерена принести окружающим.

При построении дерева целей особое внимание следует уделять выбору генеральной цели. Иногда построение начинается сразу с нескольких главных целей, совокупность которых и представляет собой генеральную цель. В этом случае генеральная цель формулируется как некоторая искусственная, обобщенная формулировка известных главных целей.

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

Дерево состоит из одной главной цели и нескольких второстепенных целей, способствующих реализации главной цели. Так же, чтобы реализовать второстепенные цели нужно продолжить иерархию ниже.

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

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

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

На рисунке 9.3 представлено дерево целей проекта по модернизации котла КВ-ГМ-100.

										Лист
										81
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.085.24 ПЗ					

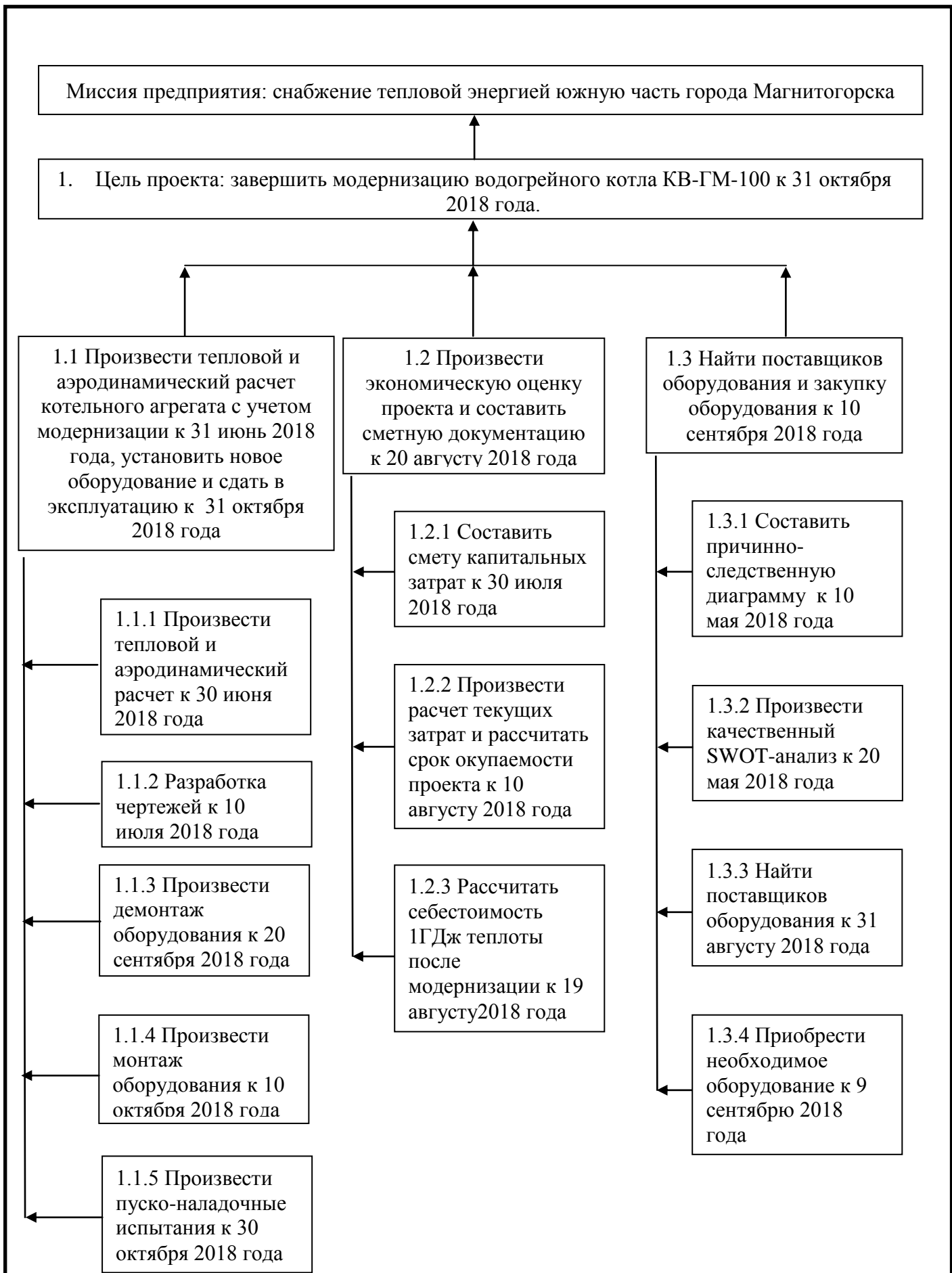


Рисунок 9.3 – Дерево целей проекта по модернизации котла

9.8 Планирование мероприятий по реализации проекта (график Ганта)

График Ганта дает графическое представление времени выполнения задач и представляет собой график интервалов на шкале времени и отражает использование объектами ресурсов.

В таблице 9.7 представлен график планирования проведения работ по проекту.

Таблица 9.7 – График Ганта

Этапы	Май 2018	Июнь 2018	Июль 2018	Август 2018	Сентябрь 2018	Октябрь 2018
Составление причинно-следственной диаграммы						
Составление SWOT-анализа						
Тепловой и аэродинамический расчет котельного агрегата						
Разработка чертежей оборудования						
Составить смету капитальных затрат						
Рассчитать срок окупаемости						
Посчитать себестоимость 1ГДж тепловой энергии						
Найти поставщиков оборудования						
Приобрести необходимое оборудование						
Демонтаж оборудования						
Монтаж нового оборудования						
Пуско-наладочные работы						

9.9 Основные показатели энергетической и экономической эффективности

В таблице 9.8 приведены основные показатели энергетической и экономической эффективности до модернизации котла КВ-ГМ-100 и после.

Таблица 9.8 – Основные показатели энергетической и экономической эффективности котла КВ-ГМ-100

Наименование показателей	Единицы измерения	Изменения показателей	
		до	после
Показатели энергетической эффективности и энергосбережения:			
1. КПД котла КВ-ГМ-100	%	91,8	92,6
2. Расход топлива	м ³ /час	12474	12366
Показатели экономической эффективности:			
1. Годовые текущие затраты	тыс. руб./год	245750,8	244240,9
2. Экономия текущих затрат	тыс. руб./год	–	1672,07
3. Затраты на топливо	тыс. руб./год	242401,6	240699,6
4. Экономия топлива после модернизации котла КВ-ГМ-100	т.у.т./год	–	1275,3
5. Срок окупаемости проекта	лет	–	2,57

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе было рассмотрен вариант модернизации с увеличением тепловой мощности котельного агрегата КВ-ГМ-100 путем замены горелочных устройств.

В специальной части были рассчитаны нагрузки на отопление и вентиляции для новых микрорайонов, максимальная нагрузка составила 26,3 МВт. Произведен тепловой расчет котла КВ-ГМ-100 с новыми горелки. Коэффициент полезного действия котла составил 92,6%, а расход газа 3,43 м³/с. После проведения расчета невязка составила менее 0,5%. При проведение аэродинамического тракта котла были посчитаны сопротивления воздушного и газового тракта котла. После проведения расчета необходимо поставить более мощные вентиляторы и дымососы. В расчете горелочных устройств определены основные параметры газа и воздуха, глубина проникновения газовых струй в поток воздуха, диаметр расширившейся струи.

В разделе энергосбережения были разобраны основные направления пути энергосбережения и повышения энергетической эффективности на предприятии. Произведен расчет экономии топлива после модернизации котла, экономия топлива в отопительный период составила 569,5 тысяч м³.

В разделе вопросы экологии был произведен расчет максимальной приземной концентрации окислов азота содержащихся в дымовых газах при существующей дымовой трубе. Концентрации окислов азота составила 0,017мг/м³ что не превышает предельно-допустимую концентрацию.

В главе автоматизации была описана автоматика котла КВ-ГМ-100.

В разделе безопасность жизнедеятельности были рассмотрены причины возможных травм работников, рассмотрены требования, предъявляемые к производственным процессам, меры пожаробезопасности, электробезопасности, требования к освещению промышленных объектов и требования безопасности, предъявляемые к горелочным устройствам.

В экономической части выпускной квалификационной работы были посчитаны капитальные затраты на модернизацию котла КВ-ГМ-100. Срок окупаемости модернизации не превышает 5 лет и является экономически целесообразным.

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» от 13 ноября 2009 года // Российская газета, 2009. – 24 с.
- 2 Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов – 6-е издание, переработанное. / Е.Я. Соколов, – М: Издательство МЭИ, 1999, 472 с.
- 3 СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* (с Изменением N 2) – М.: Минрегион России, 2012. – 115 с.
- 4 Кузнецов, Н.В. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / Н.В. Кузнецов, 2-е изд., перераб. РЕПРИНТ – М.:ЭКОЛИТ, 2011 – 296 с.
- 5 СП 89.13330.2012 Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП 2-35-76 – М.: Минрегион России, 2012. – 93 с.
- 6 Бойко, Е.А. Котельные – установки и парогенераторы (Аэродинамический расчет котла): учебное пособие / Е.А. Бойко, И.С. Деринг, Т.И. Охорзина. Красноярск.: Изд-во Красноярского государственного технического университета, 2006. –71с.
- 7 Хуторной, А.Н. Аэродинамический расчет газовоздушного тракта котла: методические указания / А.Н. Хуторной, С.В. Хон. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. – 40 с.
- 8 Минкина, С. А. Тепловой и аэродинамический расчеты котельных агрегатов / С. А. Минкина. – Самара: СГАСУ, 2013. – 104 с.
- 9 Федеральный закон от 23.11.2009 №261- ФЗ (ред. от 13.07.2015) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // Российская газета, 2009. – 44 с.
- 10 Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» // Российская газета, 2009. – 41 с.
- 11 Грибанов, А.И. Очистка дымовых газов. Ч1: конспект лекций / А.И. Грибанов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. –51 с.
- 12 Грибанов, А.И. Расчет дымовой трубы. Методическое пособие./ А.И. Грибанов.–Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. –23 с.
- 13 ПБ 10-574-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов. – М.:ПАО ОБТ, 2003. – 95 с.
- 14 ГОСТ 21204-97 Горелки газовые промышленные. Общие технические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 35 с.
- 15 Приказ Минтруда России от 17.08.2015 № 551н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок» // Российская газета, 2009. – 15 с.
- 16 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Стандартиформ, 1991. – 48 с.
- 17 ГОСТ 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.– М.: Стандартиформ, 2009. – 53 с.

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

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

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

20 Каталог промышленных горелочных устройств компании energy bruciatori industriali sr. – URL.: <http://промкаталог.рф/PublicDocuments/1201296.pdf>.

21 Блинов, Е.А. Топливо и теория горения. Раздел – подготовка и сжигание топлива: Учебно-методический комплекс (учебное пособие) / Е.А. Блинов. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2007. –119 с.

22 СНиП 2.04.07-86* Строительные нормы и правила.– М.: Минстрой России,1994.– 68с.

23 ГОСТ 30494-2011.Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.–М.: Стандартиформ, 2013.–12 с.

24 Николаева, А.А. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей/под ред. А.А. Николаева. – Курган.: Интеграл, 2007. – 360 с.

25 Средний состав газа, его теплота сгорания, плотность, объемы воздуха и продуктов сгорания. – URL.: <http://remserviss.ru/wiki/index.php?itemid=97>.

26 Паспорт водогрейного котла КВ-ГМ-100. – URL.: <http://www.dkm.ru/catalog/bolshie-kotly/70.html>

27 Ривкин, А.С. Тепловой расчет котлоагрегата: учебное пособие / А.С. Ривкин.– Иваново: ИГЭУ, 2011. – 144 с.

28 Минкина, С. А. Тепловой и аэродинамический расчеты котельных агрегатов С. А. Минкина. – Самара: СГАСУ, 2013. – 104 с.

29 Хуторной, А.Н. Аэродинамический расчет газоздушного тракта котла: методические указания / А.Н. Хуторной, С.В. Хон. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. – 40 с.

30 Паспорт горелки ПГМГ-40. – URL.: <http://mosenergoinform.ru/gorelki/pgmg.htm>.

31 Мунц, В.А. Поверочный расчет горелочных устройств: методическая разработка к курсовой работе по курсу «Основы теории горения топлив» / В.А. Мунц, Е.Ю. Павлюк. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. – 20 с.

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

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

34 Краецкая, О.Ф. Экология промышленных технологий / О.Ф. Краецкая, И.Н. Прокопья. – Минск: БНТУ, 2014. – 107 с.

35 Булкин, А.Е. Автоматическое регулирование энергоустановок: учебное пособие для вузов / А.Е. Булкин. – М.: Изд-во МЭИ, 2009. – 508 с.

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

36 Волошенко, А.В. Горбунов Д.Б. Проектирование функциональных схем систем автоматического контроля и регулирования / А.В. Волошенко, Д.Б. Горбунов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 109 с.

37 СП 62.13330.2011* Газораспределительные системы. Актуализированная редакция СНиП 42-01-2002 – М.: Минрегион России, 2013. – 42 с.

38 ГОСТ Р 54961-2012 Системы газораспределительные. Сети газопотребления. Общие требования к эксплуатации. Эксплуатационная документация– М.: Минрегион России, 2013. – 38 с.

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

40 ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования к безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 12с.

41 Соколов, Б.А. Котельные установки и их эксплуатация / Б. А. Соколов,– М.:Академия, 2007. – 432 с.

42 ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 25с.

43 Прайс-лист на работы по котлам. – URL.: <http://ремонткотла.рф/price.html>.

44 Каталог товаров на паромеханические горелки. – URL.: <http://www.dkm.ru/price-list>.

45 Каталог товаров на вентиляторы и дымососы. – URL.: <http://www.esbk.ru/price.html>.

46 Тарифы на газ в челябинской области. – URL.: <http://www.novatek74.ru/gaz-narody/tariffs/tarif>.

47 Паспорт ротационной горелки РГМГ-30. – URL.: <http://www.dkm.ru/catalog/gorelki/109.html>.

48 Стоимость приема черных и цветных металлов. – URL.: <http://www.приемные-пункты.рф/metallolom/chelyabinsk>.

49 Бологова, В. В. Экономика энергетики: учебник для вузов / В.В. Бологова, Н.Д. Рогалев, А.Г. Зубкова; под ред. Н.Д. Рогалёва – М.:МЭИ, 2011. – 320 с.

					13.03.01.2018.085.24 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88